This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

BIBLIOTHÈQUE DE LA NATURE

publiée sous la direction

DE M. GASTON TISSANDIER

LA PHYSIQUE MODERNE

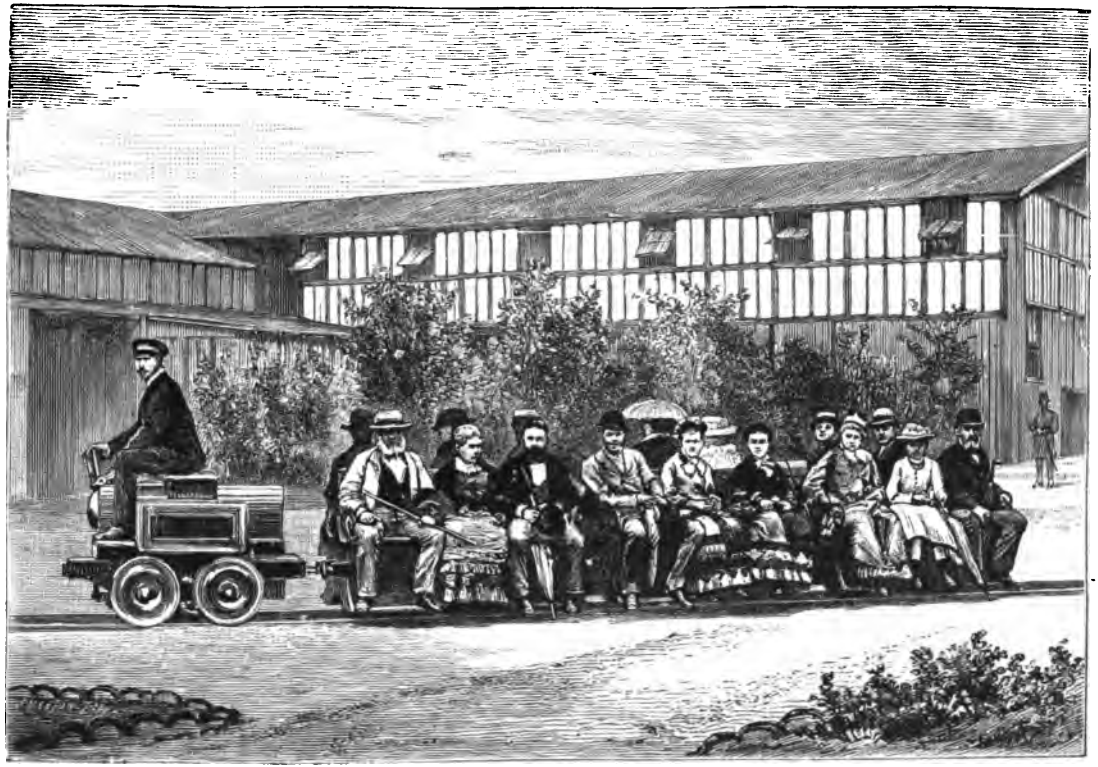
LES PRINCIPALES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

Digitized by Google

1044-80. — CORBEIL. TYP. ET STÉR. CRÉTÉ.

Digitized by Google

Digitized by Google



CHEMIN DE FER ÉLECTRIQUE DE M. W. SIEMENS (Voir page 342.)

Digitized by Google

BIBLIOTHÈQUE DE LA NATURE

LA PHYSIQUE MODERNE

LES PRINCIPALES APPLICATIONS

DE L'ÉLECTRICITÉ

PAR

E. HOSPITALIER
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

LES SOURCES D'ÉLECTRICITÈ
L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE — TÉLÉPHONE, MICROPHONE ET PHOTOPHONE
LA TÉLÉGRAPHIE MODERNE
LA TRANSMISSION DE LA FORCE A DISTANCE

133 Figures dans le texte
ET QUATRE PLANCHES HORS TEXTE.

PARIS
G. MASSON, ÉDITEUR
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, en face de l'Ecole de Médecine

M DCCC LXXXI

Digitized by Google

Eng 4008.81

95.1

Droits de traduction et de reproduction réservés.

1044 80. — Corbeil. Typ. et stér. Crété.

Digitized by Google

PRÉFACE

Aucune branche de la physique moderne ne s'est signalée par des progrès aussi rapides et aussi importants que l'électricité. Cette force nouvelle, asservie par le génie de l'homme, obéit aujourd'hui à toutes ses volontés, se plie à toutes ses exigences et à tous les besoins de son industrie.

Cette conquête date à peine du siècle, et cependant que de merveilles elle a déjà su accomplir! Comme toutes les forces de la nature, l'électricité est un agent puissant, invisible et mystérieux, dont on ignore la véritable nature. On peut cependant affirmer qu'elle est impondérable, et toutes ses manifestations prouvent qu'elle constitue un mode particulier de mouvement, comme la chaleur et la lumière. Il y a là une éclatante confirmation de l'*unité des forces physiques* réunies par la physique moderne en ces deux principes : MATIÈRE ET MOUVEMENT.

La science qui nous occupe n'a fait de progrès sérieux et ses applications n'ont reçu un développement remarquable que du jour où les idées introduites dans la philosophie moderne par la théorie mécanique de la chaleur ont nettement prouvé que l'électricité était un mode spécial de transformation des forces de la nature. Cette assimilation a été l'origine des procédés divers de production du courant électrique. Celui-ci a pour la première fois pris naissance sous l'influence de l'affinité chimique dans la pile de Volta, mais ce mode de production s'est trouvé insuffisant dans la plupart des cas, au point de vue des applications économiques et industrielles. On a essayé alors de transformer directement la chaleur en électricité. On verra au chapitre des piles thermo-électriques dans quelle mesure on y a réussi. Enfin la transformation du travail mécanique en électricité,

Digitized by Google

dont la mémorable découverte de Faraday en 1830 a été l'origine, a ouvert la voie aux applications véritablement industrielles de cette puissance merveilleuse.

Comme confirmation de l'unité des forces physiques, l'électricité a pu aussi se transformer de nouveau dans chacune des forces qui lui avaient primitivement donné naissance.

Source de chaleur et concentrée en un point, elle a produit la lumière électrique et ses applications de jour en jour plus nombreuses ; source de travail chimique, elle a produit la galvanoplastie, l'argenture, la dorure, les décompositions chimiques, etc. ; source de travail mécanique, elle a produit le télégraphe électrique dans lequel les forces mises en jeu sont très faibles, et le transport électrique de la force motrice à distance dont la puissance est scientifiquement illimitée.

Joignant à sa puissance une obéissance, une souplesse et une délicatesse extrêmes, elle a permis de transmettre à distance, sous forme de courant électrique, toutes les vibrations si complexes qui constituent le son articulé. Le téléphone de M. Graham Bell a réalisé cette dernière merveille et enfin, prodige peut-être plus grand encore, un simple rayon lumineux venant frapper un corps soumis à l'influence électrique a permis de faire entendre à distance la parole ainsi transportée par ce rayon lumineux. Le *photophone*, qui vient à peine de faire son apparition à l'heure où nous écrivons, a réalisé cette chose invraisemblable.

Nous nous sommes proposé, dans cet ouvrage, de passer en revue les principales applications de l'électricité dont ces dernières années ont vu s'accroître le développement.

Nous avons traité succinctement la partie classique de la science, nous efforçant d'introduire, au début de notre travail, des idées philosophiques et des comparaisons de nature à faire mieux comprendre les actions de cette force dont l'essence et le principe nous échappent.

Nous avons dû laisser de côté toutes les applications d'une importance secondaire au point de vue du développement qu'elles ont reçu jusqu'à ce jour. Nous avons puisé à pleines mains dans la science française et peut-être encore davantage, il faut bien l'avouer, dans la science anglaise; nous avons trouvé le plus souvent dans cette dernière des idées générales et une coordination que la science

Digitized by Google

française ne présente pas au même degré en ce qui concerne l'électricité.

Nous ajouterons en terminant que, quelque désir que nous ayons eu de nous faire comprendre de tous, la nature du sujet ne se prêtait pas toujours à la forme d'un livre de vulgarisation proprement dite ; mais si le lecteur veut bien nous lire avec attention, aucune partie ne lui sera inaccessible ; il reconnaîtra, nous l'espérons, que notre œuvre est méthodique, qu'elle répond à l'état actuel de nos connaissances, et qu'elle expose la plupart des merveilles de l'électricité moderne.

E. H.

Octobre 1880.

Digitized by Google

Digitized by Google

LA PHYSIQUE MODERNE

LES PRINCIPALES APPLICATIONS

DE L'ÉLECTRICITÉ

PREMIÈRE PARTIE

LES SOURCES D'ÉLECTRICITÉ

Le premier phénomène électrique fut constaté par *Thalès de Milet* qui reconnut, 600 ans avant l'ère chrétienne, les propriétés acquises par l'ambre frotté d'attirer les corps légers ; mais ce fut *Otto de Guéricke* qui, vers le milieu du dix-septième siècle, aperçut le premier l'*étincelle électrique*.

L'identité entre la foudre et l'électricité ne fut démontrée qu'un siècle plus tard, en 1752, par l'illustre *Franklin*, et cinquante ans après, *Volta*, en créant la pile électrique, inaugura une ère nouvelle dans l'histoire de l'électricité qui, depuis quelques années, a vu s'accroître dans une si grande mesure le champ de ses applications.

Tout le dix-huitième siècle est rempli des études et des découvertes faites en électricité *statique*, alors que la découverte de Volta jette les premières bases des nombreuses découvertes de l'électricité *dynamique*.

Digitized by Google

Aujourd'hui ces distinctions tendent à disparaître et nous verrons par la suite comment on transforme l'électricité dite statique en électricité dynamique et réciproquement.

Au point de vue des applications de l'électricité, le seul qui nous intéresse dans cet ouvrage, les *machines électriques* (à frottement, à plateau, etc.) n'ont pas donné de résultats, et les courants de haute tension qu'elles fournissent n'ont servi qu'aux expériences amusantes, aux démonstrations de l'enseignement et aux recherches purement scientifiques.

Aussi ne nous y arrêterons-nous pas, renvoyant le lecteur aux traités de physique élémentaire, dans lesquels tous ces phénomènes sont longuement décrits. L'examen des différents modes de produire l'électricité dite *dynamique* et des principales applications qu'elle a reçues rentre seul dans notre cadre, qu'il suffira, et au delà, à remplir d'une façon complète.

Classification des sources électriques. — Tous les appareils employés jusqu'ici à la production d'un courant électrique peuvent se diviser en trois grandes classes parfaitement distinctes, caractérisées par la nature des actions mises en jeu.

1° Appareils dans lesquels on utilise l'action chimique et qui transforment directement l'*affinité chimique* en électricité. Ce sont les *piles* ou *batteries galvaniques*.

2° Appareils qui transforment directement la *chaleur* en électricité. Ce sont les *piles thermo-électriques*.

3° Appareils qui transforment directement le *travail* en électricité. Ce sont les machines *électro-dynamiques*, qui se divisent en machines magnéto-électriques et dynamo-électriques.

Ce sont donc trois classes distinctes d'appareils que nous étudierons séparément; dans un chapitre spécial, nous passerons en revue les transformateurs électriques qui ne sont pas, à proprement parler, des générateurs électriques, mais qui donnent au courant électrique des propriétés particulières en changeant le rapport de ses qualités.

Digitized by Google

CHAPITRE I

LES PILES ÉLECTRIQUES

On peut se faire une idée assez exacte d'une pile en la comparant à un *foyer de chaleur*, le foyer d'une chaudière à vapeur par exemple. Ce foyer produit, par la combustion ou combinaison chimique de la houille avec l'oxygène de l'atmosphère, de la chaleur qui élève un certain volume des produits de la combustion à une certaine température. La quantité de chaleur produite par la combustion servira en partie à produire un certain volume de vapeur à une certaine pression.

Le foyer de notre chaudière n'est autre chose que la pile elle-même ; le combustible est le zinc, le comburant est l'eau acidulée, qui, par leur combinaison chimique, produisent un courant électrique ayant une certaine *tension* ou force électro-motrice et une certaine *intensité*, comme la vapeur a un volume et une pression parfaitement déterminés.

Cette comparaison grossière est cependant assez exacte ; elle présente l'avantage de faciliter l'intelligence des phénomènes souvent complexes qui se passent dans la pile, et de rendre pour ainsi dire *visibles* des faits dont l'explication théorique présente souvent une grande obscurité.

La forme la plus simple que l'on puisse donner à une pile est celle de la pile à un seul liquide. Un élément comprend alors :

Un vase servant à contenir les éléments actifs ;

Digitized by Google

2° Un corps attaqué (le zinc est presque exclusivement employé), qui formera le pôle *négatif* de la pile : c'est le combustible ;

3° Un liquide, de l'eau acidulée par l'acide sulfurique par exemple : c'est le comburant ;

4° Une lame inattaquable, cuivre, charbon ou platine, dont le rôle est de former le pôle positif de la pile en prenant l'électricité du liquide par conductibilité.

La figure 1 représente un élément simple ainsi constitué : un vase en verre V, une lame de zinc Z formant le pôle *négatif* de la pile, un liquide qui est de l'eau renfermant $\frac{1}{10}$ de son poids d'acide sulfurique, et une lame de cuivre C prenant, par conductibilité, la polarité du liquide pour former le pôle *positif*.

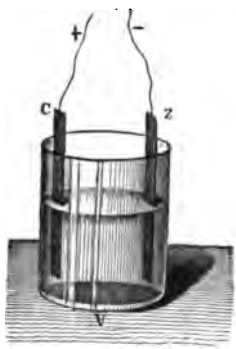


Fig. 1. — Élément simple.

En réunissant par un conducteur les deux lames Z et C, ce fil sera traversé par un *courant électrique*.

Ce courant électrique peut être figuré très simplement en le considérant comme une circulation d'électricité continue allant du pôle positif au pôle négatif à l'intérieur de la pile, et du pôle positif au pôle négatif à l'extérieur dans les fils qui les réunissent.

Négligeons pour un instant les phénomènes secondaires qui se produisent à l'intérieur de l'élément simple que nous venons de constituer, et examinons ce courant circulant dans le circuit extérieur.

Tension, force électro-motrice, intensité du courant électrique, résistance du conducteur. — Lorsqu'une lame de zinc se trouve en contact avec l'acide, il se produit entre eux une *différence de tension électrique* qui constitue la *force électromotrice* de l'élément.

La *tension* du courant correspond à la *pression* qui fait circuler l'eau dans un tuyau de conduite. L'analogie est complète, car l'intensité du courant dans le circuit est analogue au volume d'eau débité par la conduite. Le conducteur formant le circuit

Digitized by Google

extérieur n'est autre chose que le tuyau de la conduite ; ce conducteur offre une résistance au courant électrique comme le tuyau offre une résistance à l'écoulement de l'eau.

Il y a donc, dans une circulation électrique donnée, trois éléments distincts qui la caractérisent :

1° La *pression* du courant, *tension*, force électro-motrice ou différence des potentiels, comme on voudra l'appeler : c'est la force en vertu de laquelle le courant électrique s'établit.

2° Le *volume* du courant, c'est son *intensité*, ou la quantité d'électricité qui traverse le circuit dans un temps donné.

3° La *résistance* du circuit, c'est la résistance qu'apporte le conducteur à la circulation du courant, eu égard à ses dimensions et à sa nature.

Loi de Ohm. — La loi qui relie la résistance du conducteur, la tension et l'intensité du courant dans un circuit électrique, a été établie mathématiquement par *Ohm*, célèbre savant allemand, en 1827, et expérimentalement par le physicien français *Pouillet*.

Cette loi peut s'exprimer très simplement par la formule suivante :

$$I = \frac{E}{R}$$

formule dans laquelle

I représente l'intensité du courant,

E, la force électro-motrice ou différence des tensions aux deux extrémités du circuit,

R, la résistance électrique du circuit.

Cette formule se traduit ainsi en langage ordinaire : *L'intensité d'un courant sur un circuit électrique est proportionnelle à la force électro-motrice, et inversement proportionnelle à la résistance.*

Nous retrouverons cette loi à chaque instant dans l'examen des sources électriques et des applications de l'électricité.

Unités électriques. — Nous savons qu'un courant qui traverse un circuit électrique d'une certaine résistance possède une certaine tension et une intensité déterminée. Pour avoir une idée exacte de ce courant, il faut mesurer ses éléments : *tension*,

Digitized by Google

quantité et *résistance*. La mesure des éléments électriques est une question très délicate et très difficile, et il n'entre pas dans notre cadre de l'aborder, mais nous devons dire quelques mots des unités auxquelles on s'est arrêté après de longues recherches, et qui paraissent devoir être universellement adoptées dans un temps très rapproché.

En 1863, l'Association britannique nomma une commission composée des plus éminents électriciens de l'Angleterre pour établir un système coordonné de mesures électriques. Après huit années de travaux et d'expériences, le comité publia un rapport très détaillé et détermina les unités électriques en se basant sur des considérations dans le détail desquelles nous n'avons pas à entrer ici.

Les unités adoptées par la commission anglaise sont fondées sur le centimètre, le gramme et la seconde. Elles dérivent toutes les unes des autres par des définitions quelquefois très complexes, mais qui présentent l'avantage de bien établir l'origine de ces unités et d'en faciliter leur rétablissement dans le cas où cela deviendrait nécessaire.

Mais ces unités présentent un avantage encore plus grand sur les unités empiriques qui les ont précédées. L'emploi de ces unités dans les calculs n'entraîne aucun coefficient de réduction autre que des multiples de dix. L'introduction de ces coefficients de réduction provient de ce que les unités primitives, auxquelles le comité anglais a donné le nom d'*unités absolues*, étaient un peu petites pour la pratique, ce qui entraînait l'emploi de grands nombres dans les calculs ; on leur a substitué des *multiples décimaux* de ces unités, multiples auxquels on a donné des noms spéciaux qui rappellent ceux d'hommes célèbres dans la science électrique.

L'*unité de résistance* adoptée est l'Ohm. Elle correspond à la résistance d'un fil de fer de 4 millimètres de diamètre et de 100 mètres environ de longueur. En France, on a l'habitude, habitude qui tend à disparaître, de compter les résistances électriques en *kilomètres de fil télégraphique*. Le kilomètre de fil vaut

Digitized by Google

environ 10 ohms. On emploie en Allemagne l'*unité Siemens* représentée par la résistance d'une colonne de mercure purifié d'un mètre de longueur et de un millimètre carré de section; elle est à peu près égale à l'ohm.

L'*unité de tension* ou de *force électro-motrice* prend le nom de Volt. Elle correspond à très peu près à la force électro-motrice développée par un élément Daniell dont la valeur exacte en volts est 1,079. On emploie aussi quelquefois l'unité thermo-électrique de Gaugain dont la force électro-motrice est $\frac{1}{182,6}$ du volt et $\frac{1}{197}$ de l'élément Daniell.

C'est la force électro-motrice développée par un couple thermo-électrique cuivre-bismuth dont on maintient une des soudures à 0° et l'autre à 100°.

Cette unité, aujourd'hui à peu près abandonnée, présente l'avantage, au point de vue scientifique, d'avoir une très grande constance et de pouvoir toujours être réalisée *pratiquement*. On préfère cependant l'emploi du volt dont il n'existe pas d'*étalon matériel*, à cause de la simplicité que son emploi introduit dans les calculs.

Unité d'intensité. Elle est définie par la formule de *Ohm*.

$$I = \frac{E}{R}$$

Elle prend le nom de Weber. Dans les applications télégraphiques, où les intensités sont très faibles, on prend toujours pour unité le *milli-weber* qui est la millième partie du weber. Un courant télégraphique varie entre 5 et 10 milli-webers d'intensité, intensité très suffisante pour actionner convenablement la palette d'un Morse ordinaire.

Il y a lieu de faire ici, à propos de l'intensité, une distinction sans laquelle on est exposé à confondre des choses souvent très différentes.

Le *weber* est en réalité une *quantité* d'électricité parfaitement définie comme un litre est un volume défini et un kilogramme un poids également défini.

Lorsqu'on dit que l'*intensité* du courant qui traverse un fil est

Digitized by Google

de *un weber*, il faut entendre par là que la quantité de courant qui traverse ce fil *pendant une seconde*, si le courant conserve la même intensité, est de *un weber*. Le mot par seconde est donc toujours sous-entendu lorsque l'on parle de l'intensité d'un courant. L'analogie est complète si l'on compare, comme nous l'avons fait, un courant électrique à un cours d'eau. Le débit d'un cours d'eau correspond à l'intensité, soit par exemple cent litres (sous-entendu : *par seconde*), et le volume débité dans un temps donné correspond à la quantité électrique dans un temps donné. C'est cette quantité électrique que les Anglais nomment *current;* quant au mot anglais *intensity*, il correspond à ce que nous appelons la tension : ces noms analogues prêtent à des confusions contre lesquelles on ne saurait trop se mettre en garde.

Nous avons insisté tout particulièrement sur cette définition parce que ces idées, très philosophiques cependant, ne sont pas encore entrées dans l'enseignement élémentaire français, tandis qu'elles sont classiques en Angleterre. La théorie mécanique de la chaleur, à laquelle se rattachent les phénomènes électriques et la loi de Joule, vient d'ailleurs confirmer ces idées, et la transmission électrique de la force à distance, dont nous parlerons à la fin de ce volume, ne pourra faire de progrès véritablement scientifiques que si on se rend bien compte des relations qui existent entre les différents éléments électriques et mécaniques en jeu dans ces phénomènes.

Loi de Joule. La loi découverte par le célèbre physicien anglais *Joule* s'exprime par la formule :

$$W = I^2Rt.$$

La quantité de chaleur ou de travail W *développée dans un circuit électrique est proportionnelle au carré de l'intensité du courant* I, *à la résistance du circuit* R *et au temps t.*

Si on fait intervenir la quantité d'électricité Q en supprimant le temps, la formule devient :

$$W = Q^2R$$

Digitized by Google

formule qui donne, en remplaçant R par sa valeur tirée de la formule de Ohm :

$$W = QE.$$

Le travail est proportionnel à la quantité d'électricité et à la force électro-motrice. Nous retrouvons encore ici l'analogie avec les cours d'eau dans lesquels le travail est proportionnel au volume et à la pression ou hauteur de chute. On nous pardonnera d'avoir autant insisté sur ces points un peu techniques et en dehors du but que nous nous proposons, qui est de passer en revue les principales applications modernes de l'électricité.

Mais les quelques considérations que nous venons de faire sont encore trop peu connues en France pour que nous ayons pu les passer sous silence, et elles étaient nécessaires pour familiariser le lecteur avec des expressions qui viendront souvent sous notre plume au cours de cet ouvrage.

Nous pouvons maintenant aborder les piles électriques, en nous contentant d'examiner les systèmes les plus nouveaux et les plus usités.

Classification des piles. — Les piles peuvent, à défaut d'une classification absolument rationnelle et méthodique, se diviser en plusieurs groupes parfaitement distincts :

1° Par la nature de l'*électrode soluble;* dans la pratique cependant ce caractère n'a aucune importance, car la presque totalité des piles en usage emploie le *zinc* comme électrode soluble.

2° Par la nature du *comburant* qui est tantôt un acide, l'acide sulfurique le plus souvent, l'acide acétique comme dans la pile Pulvermacher; tantôt un sel comme le sel marin, le sel ammoniac, le sulfate de mercure, le sulfate de plomb, etc., etc.

3° Par la nature du *dépolarisant*, qui peut être du sulfate de cuivre, de l'acide azotique, du peroxyde de plomb, du peroxyde de manganèse; dans certains cas, le dépolarisant et le comburant forment une seule dissolution dans le même liquide, comme par exemple la pile Grenet, dans laquelle le zinc et le charbon

Digitized by Google

sont plongés dans une dissolution de bichromate de potasse et d'acide sulfurique.

Nous examinerons donc ces piles par groupes de même nature en suivant l'excellente classification de M. Alfred Niaudet dans son *Traité élémentaire de la pile électrique.*

En sacrifiant l'ordre historique, il nous sera plus facile de passer en revue les différents appareils qui produisent le courant électrique par l'action chimique, en nous étendant davantage sur les piles qui présentent un certain intérêt au point de vue de leur valeur pratique, de leur originalité ou de leur nouveauté.

PILES A UN SEUL LIQUIDE.

Depuis la pile de *Volta*, on a construit un grand nombre de piles à un seul liquide ; la pile à couronne de tasses, la pile de *Cruikshank*, celle de *Wollaston*, la pile en hélice, la pile de *Muncke* ne sont que des modifications du principe fécond découvert par le physicien italien.

La polarisation rapide de ces éléments les a fait abandonner à peu près complètement dans la pratique, et ils sont d'ailleurs décrits dans tous les traités de physique.

Dans certaines piles à un seul liquide, le cuivre a été remplacé par des électrodes d'autres substances.

En 1849 M. *Walker* employa des électrodes de charbon, d'autres employèrent le fer comme électrode inattaquée.

En 1840 un physicien anglais, *Smée*, indiqua le platine platiné pour faciliter le dégagement des bulles d'hydrogène ; *Walker* le remplaça en 1857 par du charbon platiné : sous cette forme, la pile à un seul liquide est encore très employée en Angleterre pour le service des chemins de fer.

Aujourd'hui, dans les piles à un seul liquide, on entoure l'électrode négative ou pôle positif de substances de nature à faciliter le dégagement de l'hydrogène ou sa combinaison avec l'oxygène pour former de l'eau.

Digitized by Google

Dans d'autres piles à un seul liquide, on a fait varier la nature du liquide. On a employé l'acide chlorhydrique, mais sans succès.

On a aussi essayé l'acide nitrique qui est trop cher et qui, comme l'acide chlorhydrique, dégage des vapeurs nuisibles. M. *Pulvermacher* a employé l'acide acétique pour exciter ses chaînes galvaniques remplacées aujourd'hui par des appareils plus parfaits.

Indépendamment des liquides acides, on a fait usage du sel marin ; les piles zinc-charbon et sel marin sont encore très employées en Suisse pour les sonneries d'appartement.

Dans sa bouée électrique M. *Duchemin* emploie l'eau de mer ; la pile *Bagration* le sel ammoniac, M. *Stöhrer* une solution d'alun, etc., etc.

Quel que soit le choix habile de liquide et d'électrode que l'on puisse faire, et le nombre de ces combinaisons est pour ainsi dire infini, il est fort douteux qu'on y revienne dans l'avenir, sous réserve des piles à mélanges dépolarisants dont nous décrirons quelques types.

Polarisation des piles, piles à deux liquides. — Reprenons notre élément simple de la figure 1, constitué par une lame de zinc, une lame de cuivre et de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique. Si nous fermons le courant de cette pile sur un galvanomètre, nous produirons une déviation du galvanomètre qui ira en s'affaiblissant jusqu'à devenir presque nulle dans certaines conditions. Cet affaiblissement de l'intensité du courant, quelles que soient les causes qui le produisent, prend le nom de *polarisation*.

La polarisation de la pile tient à plusieurs phénomènes dont voici les causes principales. L'impureté du zinc, en créant de petits couples secondaires au sein même du zinc, est une cause qui tend à diminuer la force électro-motrice du couple. M. Kemp proposa en 1839 l'emploi du zinc amalgamé qui fit disparaître cet inconvénient et, à la même époque, M. Grove lut un mémoire à l'Académie des sciences pour expliquer l'importance du zinc amalgamé dans les piles. Aujourd'hui on amalgame les zincs de

Digitized by Google

toutes les piles. L'appauvrissement du liquide par l'action chimique tend aussi à affaiblir le courant, en partie par l'affaiblissement de l'action chimique, et en partie par l'augmentation de résistance opposée par le liquide au passage du courant.

Le transport du zinc sur le cuivre par le courant tend aussi à diminuer son intensité parce que le cuivre, recouvert de zinc et attaqué par l'acide de l'élément, produit un nouveau courant en sens inverse du courant principal.

Mais la cause la plus puissante de la polarisation est le dépôt d'hydrogène qui s'effectue sur le cuivre.

L'oxydation du zinc et sa transformation en sulfate de zinc ont pour effet de produire une certaine quantité d'hydrogène qui se dépose sur la lame électro-négative (cuivre, platine ou charbon). Ce dépôt de gaz sur la lame de cuivre oppose un obstacle matériel à la transmission du courant par les bulles de gaz. D'autre part cet hydrogène constitue avec l'oxygène dégagé sur l'autre électrode une sorte de pile à gaz, et, par suite, un dégagement électrique en sens inverse du premier. Une pile théoriquement parfaite dans laquelle on pourrait faire disparaître toutes ces causes de polarisation fournirait un courant *constant,* et mériterait véritablement le nom de *pile constante.* En pratique on donne le nom de piles constantes à toutes les combinaisons voltaïques qui ont pour but d'empêcher ou de diminuer le dépôt d'hydrogène sur la lame électro-négative. Nous verrons, en passant en revue les piles actuellement en usage, les différents procédés par lesquels on réalise plus ou moins ce désidératum.

Pour continuer notre comparaison entre une pile, foyer d'électricité, et un foyer de chaleur, nous dirons que la polarisation dans les piles est un phénomène analogue au manque de tirage de la cheminée. Ce manque de tirage produit un abaissement de la température, une diminution dans la quantité de chaleur dégagée et une mauvaise utilisation du combustible. Dans la pile ces effets se traduisent par une diminution de la force électromotrice, de l'intensité du courant et par l'usure du zinc en pure perte.

Digitized by Google

Conditions théoriques d'une pile parfaite. — Voici, d'après M. Fleeming-Jenkin, les conditions essentielles qu'une telle pile devrait remplir :

1° Elle devrait posséder une grande force électro-motrice.

2° Elle devrait avoir une résistance intérieure faible et constante.

3° Sa force électro-motrice devrait être constante quel que soit le courant produit au point de vue de l'intensité.

4° Les matières employées devraient être à bon marché.

5° La pile ne devrait rien dépenser lorsqu'elle ne produit pas de courant, c'est-à-dire lorsqu'elle est en circuit ouvert.

6° Sa disposition devrait être telle que l'on puisse vérifier facilement son état, son fonctionnement et ajouter des substances nouvelles lorsqu'elles sont nécessaires.

Aucune pile connue ne réalise toutes ces conditions au plus haut degré. Les exigences spéciales à chaque application doivent guider dans le choix d'un élément convenable pour l'usage qu'on se propose d'en faire. Nous allons examiner par quels procédés on a satisfait à ces conditions si diverses en décrivant, dans chaque groupe, les types principaux que la pratique a sanctionnés.

Piles à deux liquides à sulfate de cuivre. — L'emploi du sulfate ou de l'azotate de cuivre comme dépolarisant fut indiqué pour la première fois par *Becquerel* en 1829, à la suite de longues et nombreuses expériences. Les résultats obtenus furent très satisfaisants et il s'en servit toujours depuis cette époque.

C'est seulement en 1836 que *Daniell* imagina la pile qui porte son nom. Les piles Becquerel et Daniell ne différaient que par la nature de la cloison poreuse, qui était en baudruche dans la pile de Daniell, et en kaolin dans l'élément Becquerel, auquel on substitua plus tard des vases poreux en terre de pipe dégourdie.

Tout le monde connaît la disposition de l'élément Daniell, nous n'y reviendrons pas. Sa force électro-motrice est, comme nous l'avons vu, de 1,079 *volt*, lorsque l'acide sulfurique est étendu de quatre fois son poids d'eau, et sa résistance intérieure varie, suivant la grandeur des éléments, leur état, etc., entre un et vingt *ohms*.

Digitized by Google

On a donné un grand nombre de formes à la pile Daniell. On a construit des piles à ballon, des piles à cuivre extérieur, des piles à auges. La pile Daniell à auges construite par M. *Muirhead* est très employée en Angleterre, et le Post-Office de Londres en emploie plus de 20,000 pour son service télégraphique.

M. *Carré* a construit une pile Daniell dans laquelle le vase poreux était remplacé par un vase de papier parcheminé qui diminuait considérablement la résistance intérieure de la pile et a permis de faire de la lumière électrique avec 60 éléments. C'est la première fois que la pile Daniell a pu être employée pour cette application qui demande, comme on le sait, un courant d'une certaine intensité.

M. *Minotto*, de Venise, a imaginé une pile à sable très employée en Italie et dans l'Inde anglaise : la séparation des deux liquides provient de leur différence de densité ; le zinc et le cuivre sont formés de deux disques plats horizontaux, le cuivre en dessous. Le sulfate de cuivre est séparé du sable par une feuille de papier buvard ou un morceau de toile. Cette pile offre une assez grande résistance intérieure, mais rend d'excellents services en télégraphie.

Pile humide de M. Trouvé. — La pile humide de M. Trouvé est une pile Daniell, qui présente le grand avantage de fonctionner sans liquide, ou du moins sans liquide libre pouvant se renverser ou fuir des vases qui le contiennent.

Voici comment est composé chaque élément: Un disque rond de zinc Z (fig. 2) et un disque de cuivre C sont placés parallèlement l'un à l'autre, et séparés par une pile de disques de papier d'un diamètre un peu moindre. Cette masse de papier peut absorber beaucoup d'eau et rester humide pendant un temps très long, surtout dans les conditions pratiques que nous indiquerons plus loin. La moitié inférieure des disques de papier est imbibée d'une solution saturée de sulfate de cuivre, l'autre moitié est imbibée d'une solution de sulfate de zinc.

On voit donc qu'on a là tous les éléments d'une pile Daniell

Digitized by Google

ordinaire, dans laquelle les deux liquides restent séparés beaucoup mieux qu'ils ne le sont dans des vases poreux.

Le disque de cuivre est maintenu au centre par une tige isolée, des rondelles de papier et de zinc ; elle dépasse la table d'ardoise qui surmonte l'élément et qui sert de couvercle au vase de verre ou d'ébonite dans lequel on place l'élément à l'abri des courants d'air et de la poussière. Le bord de ce vase a été rodé et l'ardoise bien dressée, de telle sorte que l'élément se trouve dans une capacité hermétiquement fermée et par conséquent préservé de l'évaporation.

Ainsi constitué, l'élément peut fonctionner pendant plus d'une année, sans qu'on ait à s'en occuper en aucune façon.

Il va sans dire qu'après un certain temps plus ou moins long et variable avec l'activité du travail qu'on fait faire à la pile, elle finit par s'épuiser ; le sulfate de cuivre se trouve réduit et la pile, après s'être affaiblie, cesse de fournir un courant sensible.

Il faut, avant ce terme, recharger l'élément, ce qui est une opération facile, pour laquelle il ne faut qu'un peu de soin.

Cette opération consiste à tremper dans une solution chauffée et saturée de sulfate de cuivre la partie inférieure de l'élément ; on prépare cette solution dans une cuvette de cuivre faite exprès, elle s'élève jusqu'à un niveau marqué, le couvercle de l'élément porte sur le bord de la cuvette, de telle sorte que le papier s'imbibe jusqu'à la hauteur voulue, sans qu'on ait à la chercher.

Quant au sulfate de zinc, il se forme constamment par l'action de la pile ; il n'y a donc jamais à en remettre.

Le zinc lui-même s'use, et au bout d'un certain temps devra être remplacé ; on renouvellera au même moment le papier ; le cuivre, au contraire, débarrassé du cuivre pulvérulent déposé par l'action du courant, servira indéfiniment, comme les autres parties de la pile.

Le principal avantage de la nouvelle disposition imaginée par M. Trouvé est la suppression presque complète du travail intérieur de la pile, quand le circuit est ouvert. On peut dire d'une pile Daniell qui ne fournit pas de courant, qu'elle est un cheval à

Digitized by Google

l'écurie, c'est-à-dire qu'elle consomme sans produire ; c'est là l'inconvénient unique, mais fort grave, de la pile Daniell ordinaire. Cet inconvénient n'existe pour ainsi dire pas dans la pile

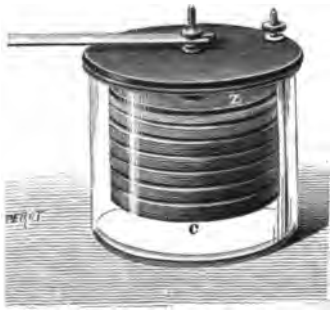


Fig. 2. — Pile humide de M. Trouvé.

Fig. 3. — Pile de M. Trouvé. Disposition pour la télégraphie militaire.

humide de M. Trouvé, parce que les liquides y sont superposés dans l'ordre de leurs densités et qu'ils ne peuvent s'y mêler que très difficilement.

Pile Callaud. — L'idée de séparer les deux liquides de la pile Daniell en se fondant sur leurs différences de densité a été trouvée à la fois par M. *Callaud* en France, et M. *Meidinger* en Allemagne.

La pile Callaud a reçu plusieurs modifications dans sa forme pratique, nous en reproduisons un modèle aujourd'hui très employé.

Pile Callaud, modèle Trouvé. — Le modèle de la pile Callaud, disposé par M. Trouvé, présente une très grande simplicité et par suite un bon marché en rapport avec cette simplicité. Elle a été réalisée surtout en vue de l'application thérapeutique du courant continu qui se pratique aujourd'hui dans beaucoup d'hôpitaux et chez beaucoup de médecins. Le vase de verre n'a que 12 centimètres de haut et 7 de diamètre. Le zinc est retenu sur le

Digitized by Google

bord du verre par trois saillies ou plis faits avec une pince (fig. 4). Le cuivre est formé par une spirale de fil de cuivre plate qui se relève verticalement au milieu du vase ; cette partie verticale est protégée par un petit tube de verre. La liaison des éléments a lieu au moyen d'un petit boudin qui termine le fil de cuivre soudé au zinc et dans lequel s'engage le fil de cuivre qui constitue le rhéophore de l'élément suivant.

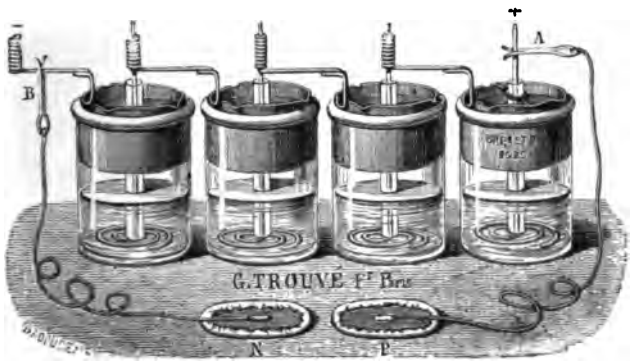


Fig. 4. — Pile Callaud, modèle Trouvé.

Il suffit de quatre éléments Callaud-Trouvé disposés dans une petite boîte carrée pour charger et maintenir en charge les piles secondaires de M. Gaston Planté, dont nous parlerons plus tard.

Pile Onimus. — La pile du docteur Onimus est encore une pile Daniell disposée plus spécialement pour les applications médicales des courants continus; elle se compose d'un vase extérieur en verre A renfermant un petit cylindre de zinc Z (fig. 5) et une tige de cuivre terminée par une plaque de cuivre *c*. Un tube en verre B, ouvert à ses deux bouts, plonge dans le milieu du vase et est fermé à son extrémité inférieure *f* par une bourre de fusil du calibre 24, facile à remplacer s'il en est besoin. Ce tube en vase B renferme les cristaux de sulfate de cuivre, la bourre joue le rôle de vase poreux. Pour mettre la pile en action, il suffit de verser de l'eau dans le vase et dans le tube jusqu'à la hauteur x, y. Le courant s'établit au bout de quelques heures et la pile marche alors régulièrement pendant

Digitized by Google

plusieurs mois, à la condition d'ajouter quelques gouttes d'eau à de rares intervalles et de remettre quelques cristaux de sulfate de cuivre dans les tubes où ils ont disparu.

Les avantages de cette pile pour les usages auxquels elle est destinée sont une grande constance et une faible action chimique, car la solution de sulfate de cuivre ne pénètre que très peu à travers la bourre.

Il n'y a jamais mélange des liquides pendant le transport, et

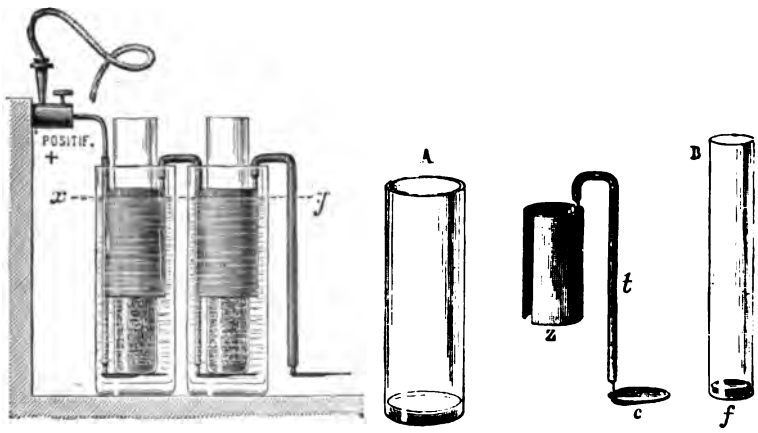


Fig. 5. — Pile du docteur Onimus, détails d'un élément.

il suffit d'enlever les petits tubes qui renferment les cristaux de sulfate de cuivre pour arrêter le fonctionnement des éléments, car alors le liquide baisse de niveau, et les zincs se trouvent hors de son contact. Pour remettre la pile en action, il suffit de replacer les tubes à l'intérieur des vases.

Pile de sir William Thomson. — Cette pile est à très grande surface et composée d'auges en bois doublées de plomb à l'intérieur. La plaque de cuivre est au fond et le zinc, en forme de grille, repose sur des tasseaux de bois, les plaques zinc et cuivre sont ainsi rapprochées; en superposant sept à huit de ces éléments, on obtient une pile énergique appliquée par sir William Thomson au *siphon recorder*.

La force électro-motrice de ces éléments sans vase poreux est

Digitized by Google

un peu supérieure à celle des éléments à vase poreux, mais on peut admettre, dans la pratique, qu'elle leur est sensiblement égale ; toutefois la résistance intérieure ne dépasse pas 0,2 ohm.

PILES A SULFATES.

On a constitué des piles dans lesquelles le sulfate de cuivre et la lame de cuivre sont remplacés par une lame d'un autre métal et le sulfate correspondant, mais ces appareils n'ont, pour la plupart, aucun intérêt pratique. La plus importante est celle au sulfate de mercure de Marié-Davy. Le sulfate de cuivre est remplacé par le sulfate de mercure, et la lame de cuivre par une plaque de charbon. L'action chimique est analogue à celle de la pile Daniell, sauf que le sulfate de mercure, est à peu près insoluble. On a aussi employé des piles à sulfate de mercure sans vase poreux, et dans la pile à renversement de M. *Trouvé*, c'est la dissolution du mercure qui forme à la fois le dépolarisant et le comburant.

Pile hermétique au bisulfate de mercure de M. Trouvé. — La pile représentée en grandeur naturelle (fig. 6) est formée d'un couple zinc-charbon renfermé dans un étui d'*ébonite* en

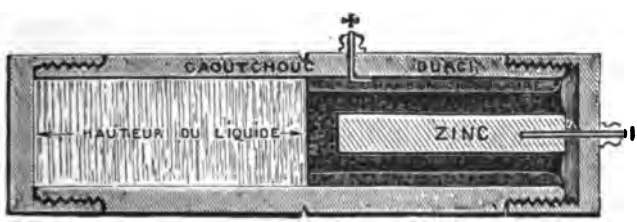


Fig. 6. — Pile hermétique de M. Trouvé.

caoutchouc durci, fermé hermétiquement. Le zinc et le charbon n'occupent que la moitié supérieure de l'étui, l'autre moitié est occupée par le liquide excitateur, qui est une solution de sulfate de protoxyde de mercure. Tant que l'étui est vertical, le zinc en haut, le couple ne plonge pas dans le liquide, il n'y a donc pas de production d'électricité ; en renversant l'étui, on immerge le zinc

Digitized by Google

et le charbon circulaire, le courant se produit aussitôt pour cesser dès qu'on redresse l'étui. De là le nom de *pile à renversement* donné aussi à ce petit appareil. M. Trouvé l'a appliqué à différents appareils d'induction, à son explorateur électrique et à ses petits bijoux électriques. (Voir la *Récréation scientifique* de M. Gaston Tissandier, bibliothèque de *La Nature*.)

MM. *Gaiffe* et *Ruhmkorff* emploient aussi des piles à sulfate de mercure et à un seul liquide pour exciter les bobines d'induction de leurs petits appareils médicaux de poche.

Pile à sulfate de plomb. — Le sulfate de plomb a été employé pour la première fois par *Becquerel*, puis en 1860 par *Marié-Davy* qui donna à l'élément la forme de la pile Daniell sans vase poreux de sir William Thomson. M. Edmond Becquerel a ramené la pile à la forme habituelle des éléments Daniell.

Aujourd'hui ces piles sont abandonnées à cause de l'énorme résistance intérieure des éléments qui oblige à en doubler le nombre pour fournir la même intensité que les éléments Daniell.

PILES A ACIDES.

La première pile à acide nitrique comme dépolarisant date de 1839 et est due à un éminent physicien anglais, *Grove*. Dans la pile de Grove, l'électrode négative ou pôle positif est constituée par une lame de platine placée dans une solution d'acide azotique concentré plongeant dans le vase poreux. Grove avait proposé de remplacer le platine par du charbon de bois ou du charbon de cornue, mais il ne donna pas grande suite à cette idée qui fut reprise, en 1843, par un physicien allemand, M. *Bunsen*, de Heidelberg.

Toutes les piles *Bunsen* construites jusqu'en 1849 étaient faites avec du charbon aggloméré moulé en cylindre creux placé avec l'acide dans le cylindre *extérieur*, et le zinc placé à l'intérieur du vase poreux.

C'est seulement en 1849 que M. *Archereau* imagina d'employer du charbon de cornue taillé en prisme et placé dans le vase po-

Digitized by Google

reux avec le zinc *roulé* placé à l'extérieur. De sorte que la pile connue universellement sous le nom de pile Bunsen est bien réellement l'invention de M. Archereau.

La pile Bunsen a reçu depuis une foule de modifications qui n'ont pu faire abandonner le type primitif imaginé par Archereau.

Ruhmkorff a cependant construit une pile Bunsen à éléments plats qui présente deux avantages, une petite résistance intérieure due au rapprochement et à la grande surface des électrodes, et un faible volume d'acide nitrique à cause du peu d'épaisseur du vase poreux dont le charbon, formé d'une large plaque, occupe environ le tiers de la capacité.

M. *Tommasi* a modifié aussi la pile de Bunsen dans le but de supprimer les vapeurs nitreuses et de rendre l'appareil pratique pour l'éclairage domestique. Nous attendons encore la réalisation de ses belles promesses.

On a aussi essayé comme dépolarisant les acides chlorique, chromique, chlorhydrique, l'eau régale, etc., mais la pratique n'a pas sanctionné ces piles, qui sont restées jusqu'ici à l'état d'expériences de laboratoire.

PILES A OXYDES.

Puisque la dépolarisation dans les piles s'opère par l'oxydation de l'hydrogène, on peut obtenir ce résultat en employant des oxydes faciles à décomposer.

De la Rive a employé le peroxyde de plomb et le peroxyde de manganèse il y a plus de trente ans déjà, mais ses piles ne furent pas mises en usage et étaient tombées dans l'oubli, lorsque M. Leclanché imagina la pile qui porte son nom et qui est aujourd'hui universellement employée.

Pile Leclanché au peroxyde de manganèse. — L'élément Leclanché est représenté figure 7. Le vase extérieur de verre est carré ; cette forme présente l'avantage notable que, dans une boîte de grandeur moindre, on peut faire tenir un même nombre d'éléments contenant la même quantité de liquide ; en

Digitized by Google

d'autres termes, on réalise ainsi une pile moins encombrante. Ce vase présente un étranglement ou goulot qui est à peu près de même diamètre que le vase poreux ; d'où il résulte que le vase est presque bouché, ce qui diminue l'évaporation possible du liquide. Enfin cet étranglement présente un bec qui sert à faire entrer ou sortir le zinc et qui est commode aussi quand on veut vider le liquide contenu dans le vase.

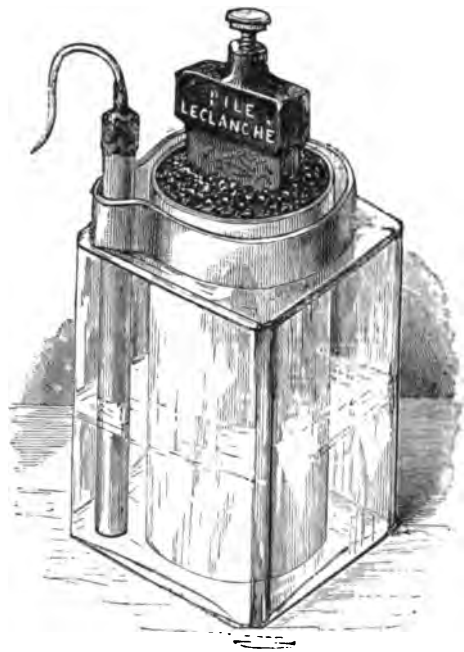


Fig. 7. — Pile au peroxyde de manganèse de M. Leclanché.

L'électrode soluble est formée d'une simple tige ou crayon de zinc cylindrique d'un centimètre de diamètre ; à la partie supérieure de ce bâton de zinc est percé un petit trou central dans lequel s'engage et se soude un fil de fer galvanisé, c'est-à-dire zingué. Ce rhéophore est à la fois flexible et solide ; on peut l'enrouler en spirale cylindrique ou, comme on dit, en boudin ; on lui donne ainsi une élasticité qui est souvent commode.

Le vase poreux a, comme nous l'avons dit, à peu près le dia-

Digitized by Google

mètre du goulot du vase extérieur ; il contient en quantités à peu près égales du peroxyde de manganèse et du charbon de cornue. Au centre de cette masse est une plaque de charbon surmontée d'une masse de plomb moulée dans une lingotière, un bouton de laiton se visse dans cette tête de métal, sous laquelle on serre le rhéophore négatif de l'élément suivant.

Dans le vase extérieur on met de l'eau jusqu'à moitié-hauteur du vase poreux et du chlorhydrate d'ammoniaque ; le liquide pénètre au bout de peu de temps dans le vase poreux et dans la masse qu'il contient.

Le mélange de peroxyde et de charbon est recouvert de cire ou d'arcanson fondu, qui le maintient dans le transport. On ménage dans cette enveloppe un trou par où l'air peut s'échapper quand l'eau pénètre dans le vase poreux.

Dans la pile Leclanché il n'y a action chimique que lorsque le circuit est fermé. Sa force électro-motrice varie entre 1,4 et 1,5 volt. Dans le modèle de 14 centimètres de hauteur, la résistance varie entre 5 et 6 ohms.

Elle ne contient pas de substances vénéneuses, ne répand pas de vapeurs acides ni d'odeur appréciable, les matières qu'elle emploie sont d'un prix peu élevé et résistent aux froids les plus intenses. Elle est très employée en télégraphie, pour les sonneries d'appartement, et, en général, pour tous les usages domestiques.

La dépolarisation obtenue par le bioxyde de manganèse n'est pas complète et, en court circuit, la force électro-motrice baisse rapidement. Mais elle se dépolarise très rapidement en circuit ouvert.

Dans les services intermittents, sonneries et télégraphes, la polarisation est insensible.

M. Leclanché a construit une nouvelle pile à mélange aggloméré dans lequel le vase poreux est supprimé et remplacé par un mélange de 40 parties de pyrolusite, 55 de charbon et 5 de résine gomme-laque comprimé à 300 atmosphères et chauffé en même même temps à 100°.

En plaçant deux anneaux de caoutchouc très saillants sur la

Digitized by Google

baguette de zinc, on empêche son contact avec le cylindre aggloméré.

Pous les sonneries d'appartement, les piles Leclanché peuvent durer quatre et cinq années sans autre préoccupation que celle d'ajouter de temps en temps un peu d'eau dans le vase extérieur, pour remplacer celle qui se perd par l'évaporation.

Pile au sesquioxyde de fer et au chlorhydrate d'ammoniaque de MM. Clamond et Gaiffe. — Cette pile ne diffère de celle de M. Leclanché que par la substitution de l'oxyde de fer à l'oxyde de manganèse. Lorsque le circuit est fermé, le chlorure d'ammonium ou chlorhydrate d'ammoniaque attaque le zinc et forme avec lui du chlorure double d'ammonium et de zinc; l'ammonium mis en liberté se porte sur le sesquioxyde de fer qu'il décompose en s'emparant d'une partie de son oxygène et forme avec ce dernier de l'ammoniaque libre qui disparaît par l'évaporation.

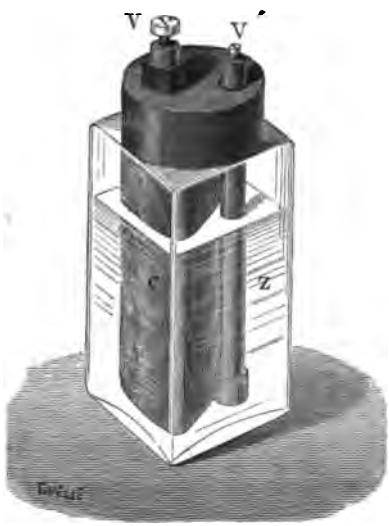


Fig. 8. — Pile Clamond et Gaiffe.

Cet élément, représenté figure 8, se compose d'un vase en verre, d'un prisme de charbon C, aggloméré et poreux, contenant le sesquioxyde de fer dans ses pores, et d'une baguette de zinc amalgamé Z. Un bouchon mastiqué ferme le vase et empêche l'évaporation du liquide qui est une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque.

La force électro-motrice du couple est de 1,2 volts; il présente l'avantage de ne pas s'user lorsque son circuit est ouvert. Le corps dépolarisant pouvant reprendre à l'air, pendant le temps du repos, l'oxygène qu'il a abandonné pendant la marche du couple, sa durée est indéterminée, à la condition de ne pas le surmener et de rem-

Digitized by Google

placer, de loin en loin, le zinc et le chlorhydrate d'ammoniaque. Il peut être employé pour les batteries médicales à courant continu, les sonneries électriques et les télégraphes domestiques, mais son énorme résistance intérieure en fait une source électrique peu puissante.

Avec de plus grandes dimensions il met en action les télégraphes de chemin de fer et les appareils d'induction électro-médicaux.

PILES A CHLORURES.

Dans ces piles, on effectue la dépolarisation par le chlore au lieu de l'effectuer par l'oxygène.

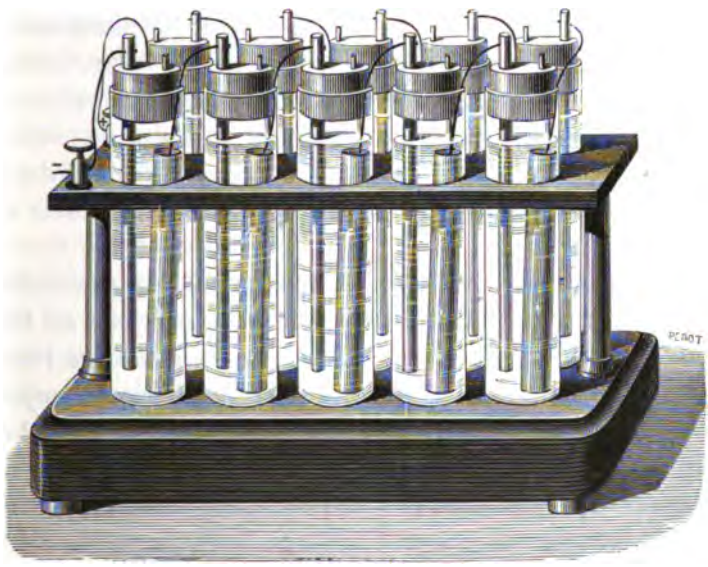


Fig. 9. — Pile de M. Warren de la Rue.

Nous signalons seulement pour mémoire la pile au chlorure de platine indiquée par *Daniell*, qui, d'une grande valeur au point de vue théorique, serait trop coûteuse en pratique.

Pile au chlorure d'argent de M. Warren de la Rue. — C'est *M. Marié-Davy* qui s'est servi le premier du chlorure

Digitized by Google

d'argent comme dépolarisant en 1860, mais *M. Warren de la Rue* en fait usage dans sa pile depuis 1868, et les perfectionnements qu'elle a reçus depuis cette époque sont dus aux recherches faites par ce savant sur les courants de haute tension.

La figure 9 représente l'ensemble d'un groupe de dix éléments montés en tension, et la figure 10 les différentes parties qui constituent chaque élément.

Le vase extérieur est un cylindre de 13 centimètres de long et de 3 centimètres de diamètre; l'électrode soluble est un crayon de zinc *non amalgamé* (c'est une rare exception à l'emploi du zinc amalgamé). M. de la Rue emploie de préférence le zinc de la Vieille-Montagne, à cause de sa bonne qualité; un trou percé à la partie supérieure de ce crayon de zinc sert à recevoir le petit ruban d'argent qui forme le pôle positif de l'élément suivant, le contact est assuré par une petite goupille de laiton C légèrement conique. La seconde électrode est formée d'un ruban d'argent autour duquel on a fait fondre un cylindre de chlorure d'argent AgCl. Ce bâton de chlorure d'argent est placé dans un petit cylindre de papier-parchemin A qui évite les contacts accidentels.

Le liquide est une solution de 23 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque pour un litre d'eau. Le vase extérieur est fermé par un bouchon de paraffine qui est un des meilleurs isolants connus et qui, par le fait qu'elle est anti-hygrométrique, empêche l'eau qui pourrait être répandue à sa surface de s'étaler et d'établir des dérivations nuisibles.

L'action est fort simple: le zinc se dissout et remplace l'argent dans le chlorure; l'argent provenant de la décomposition se dépose en une masse poreuse, d'abord à la surface, puis peu à peu dans la masse du chlorure d'argent. Cette pile ne donne lieu à aucune action locale tant que le circuit extérieur n'est pas fermé, ce qui est très précieux pour des expériences de courte durée renouvelées à des intervalles de temps assez longs. Bien que cette pile soit à un seul liquide, il faut remarquer que le comburant est un corps solide, le chlorure d'argent, qui ne se dissout

Digitized by Google

pas dans le liquide en contact avec lui, mais qui fournit le chlore nécessaire à la dissolution du zinc.

La force électro-motrice varie entre 1 et 1,07 volt; sa résistance intérieure dépend du temps de service et des dimensions de l'élément. Dans le type que nous venons de décrire, la résistance varie entre 2,7 et 4,3 ohms.

M. Warren de la Rue possède aujourd'hui 11,000 éléments de sa pile qui lui permettent de faire sur l'étincelle électrique des expériences qui présentent le plus grand intérêt, mais dont la description sortirait de notre cadre.

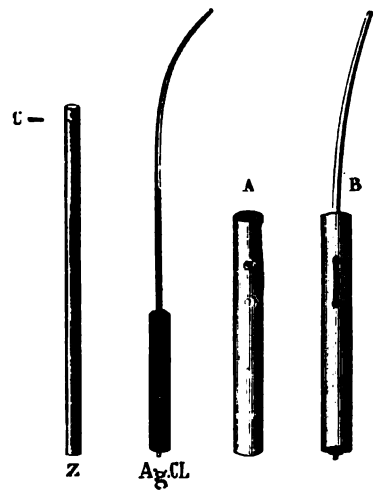


Fig. 10.— Détails d'un élément de la pile Warren de la Rue.

M. Gaiffe emploie aussi la pile au chlorure d'argent pour les courants continus, et pour les appareils médicaux d'induction; ces éléments sont de très petite dimension et hermétiquement clos dans des boîtes d'ébonite fermées par des couvercles à vis.

M. Duchemin a proposé en 1866 l'emploi du perchlorure de fer comme dépolarisant, mais il ne se produit dans l'élément qu'une dépolarisation incomplète, et le zinc se recouvre bientôt de dépôts peu conducteurs.

M. Marié Davy a essayé le chlorure de plomb, mais la force électro-motrice de cet élément est faible, le chlorure de plomb est assez cher, la pile ne présente donc pas d'avantage spécial.

Pile au chlorure de chaux de M. Niaudet. — Dans la pile de M. Niaudet, représentée figure 11, le zinc plonge dans une solution de chlorure de sodium, et le charbon dans une solution de chlorure de chaux qui joue ici le rôle de dépolarisant.

Le chlorure de chaux du commerce, employé comme décolorant et désinfectant, est un mélange de chaux, d'hypochlorite de chaux et de chlorure de calcium. L'acide hypochloreux que con-

Digitized by Google

tient l'hypochlorite est composé d'oxygène et de chlore qui peuvent se combiner tous deux avec l'hydrogène pour former de l'eau et de l'acide chlorhydrique.

Ce dernier acide attaque la chaux et produit du chlorure de calcium ; tous les corps qui prennent naissance étant solubles, le liquide garde sa limpidité. Lorsque le circuit est ouvert, le zinc n'est pas attaqué, il n'y a donc pas de dépense.

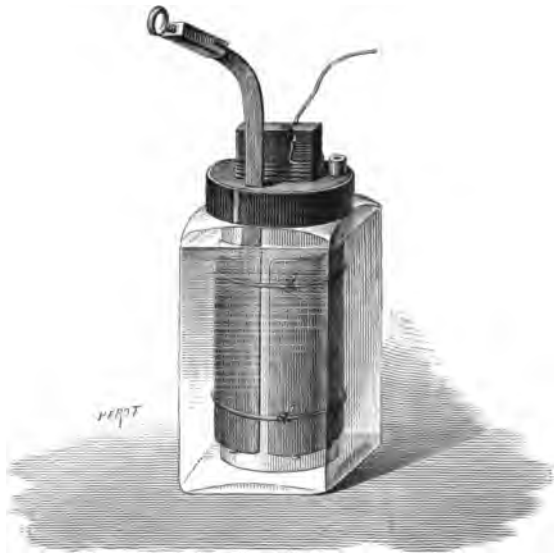


Fig. 11. — Pile au chlorure de chaux de M. Niaudet.

La force électro-motrice de cet élément est de 1,6 volts. Le chlorure de chaux ayant une odeur très désagréable, le vase qui contient la pile doit être clos à l'aide d'un bouchon recouvert de cire. Le zinc et sa queue sont d'un seul morceau, on le maintient à une distance régulière et très petite du vase poreux en interposant des petites baguettes de bois serrées entre le zinc et le vase à l'aide de deux bagues de ficelle. Par cette disposition, le zinc ne descend pas au fond du liquide et on évite la formation de couples locaux qui produisent une usure en pure perte.

Digitized by Google

PILES A MÉLANGES DÉPOLARISANTS.

Nous avons examiné jusqu'ici des piles dans lesquelles on entoure l'électrode électro-négative (cuivre, platine, charbon ou argent) de matières abandonnant facilement de l'oxygène ou du chlore, qui se combinent avec l'hydrogène dégagé et produisent une dépolarisation partielle ou totale. Une autre méthode consiste à placer autour de cette électrode un mélange des deux substances dont la réaction réciproque produit soit de l'oxygène, soit du chlore.

Les piles de ce genre le plus en usage sont les piles à bichromate de potasse.

M. Poggendorff est le premier qui ait eu l'idée d'employer un mélange de bichromate de potasse et d'acide sulfurique dans l'eau distillée pour dépolariser l'électrode conductrice.

Depuis, la pile au bichromate a reçu différents perfectionnements qui ont rendu son emploi souvent très-commode et très-pratique.

La force électro-motrice des éléments atteint 2 volts, elle est plus grande que celle des éléments Bunsen et Grove, mais, malgré le mélange, il se produit une polarisation rapide, surtout lorsque le circuit extérieur est peu résistant.

Les éléments en présence produisent des réactions complexes qui se traduisent finalement par la formation d'un alun de chrôme qui, par sa formation, produit un courant en sens inverse de celui de l'élément, il en résulte une polarisation énergique et un épuisement rapide du liquide.

Pile Grenet. — En 1856, M. Grenet avait établi un système de ventilation à l'intérieur du liquide qui empêchait le dépôt du chrôme et détruisait par l'action de l'air sur l'hydrogène naissant la polarisation qu'il pouvait causer.

En pratique, il n'y avait rien à attendre d'un système aussi compliqué, et la pile qui porte aujourd'hui le nom de pile Grenet n'est autre chose que la pile à ballon ou pile-bouteille, bien

Digitized by Google

connue de tout le monde, et qui rend de si grands services pour les expériences de courte durée.

Batterie et pile au bichromate de potasse avec bâti à treuil. — Les piles au bichromate de potasse ont la propriété de donner un courant énergique sans répandre aucune odeur, à la condition de ne les employer que pour des travaux ou des expériences de courte durée et de retirer les zincs du liquide après chaque expérience.

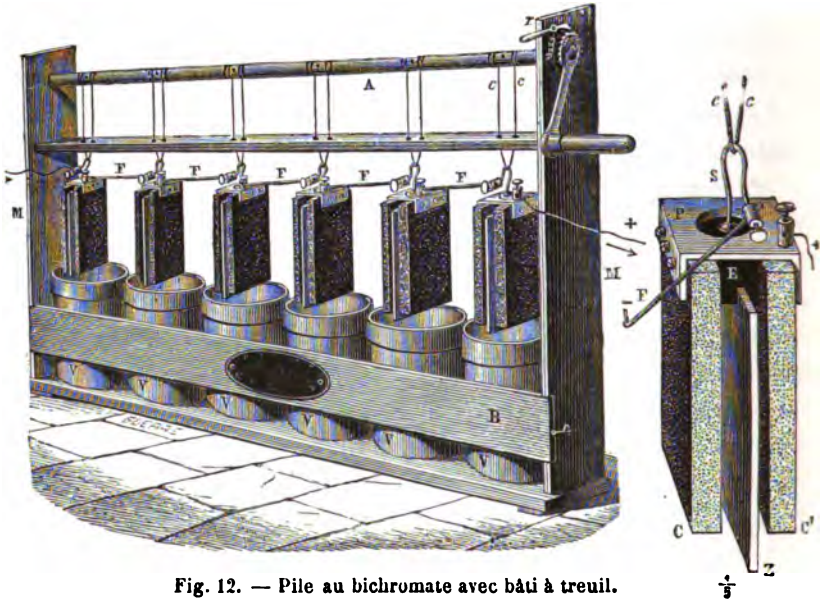


Fig. 12. — Pile au bichromate avec bâti à treuil. $\frac{1}{5}$

M. Ducretet construit un modèle composé d'éléments à bichromate suspendus par des cordes qui s'enroulent sur un treuil à rochet A*r* (fig. 12). Chaque élément comprend une large lame de zinc Z amalgamée, placée entre deux charbons C,C', et isolée par un bloc d'ébonite E; un crochet de laiton S fixe cette lame, il sert à la fois de conducteur et de crochet pour la corde du treuil. Les charbons sont vissés sur une équerre métallique P, une borne fixée sur cette équerre sert à fixer les conducteurs. La solution la plus convenable se compose de :

Digitized by Google

Bichromate de potasse.....	200 grammes.
Eau ordinaire.....	2 litres.
Acide sulfurique ordinaire.....	150 à 200 grammes.

On peut ajouter 5 grammes de bisulfate de mercure pour entretenir les zincs dans un bon état d'amalgamation.

M. Gaiffe construit une pile à treuil analogue dans laquelle les charbons et les zincs sont fixés sur une traverse d'une façon rigide, ce qui empêche le balancement des éléments pendant qu'on les soulève et évite les projections du liquide acide.

D'autres modèles de pile au bichromate de potasse ont été combinés par *M. Trouvé* dans lesquels on peut facilement démonter les éléments, les nettoyer, réamalgamer les zincs et les remplacer s'il en est besoin.

M. Camacho dispose les éléments en cascade et fait circuler le mélange dépolarisant, ce qui produit une certaine agitation favorable à la dépolarisation ; l'électrode de charbon est placée dans un vase poreux rempli de fragments de charbon de cornue ; on obtient ainsi une surface énorme de l'électrode, ce qui rend la polarisation très lente.

M. Cloris Baudet a aussi combiné une pile à laquelle il a donné le nom un peu prétentieux d'*impolarisable*, et dans laquelle le vase poreux qui renferme le zinc porte deux autres petits vases qui lui sont soudés latéralement : l'un de ces petits vases renferme de l'acide sulfurique, l'autre, percé de trous, des cristaux de bichromate de potasse ; il établit ainsi une *provision* de substances qui peut bien maintenir la solution dans un état de concentration suffisant, mais cela ne nous explique pas comment elle peut empêcher la polarisation de se produire.

M. Fuller a disposé une pile au bichromate, employée en Amérique et en Angleterre pour la télégraphie, dans laquelle le zinc placé au milieu du vase poreux plonge dans du mercure qui maintient son amalgamation.

Du rôle des piles dans les applications de l'électricité. Travail maximum disponible. — Dans toutes les piles que nous venons de passer en revue, nous trouvons toujours le zinc

Digitized by Google

comme combustible. Le travail disponible dans le circuit extérieur d'une pile dépend donc du nombre de calories produites par la combinaison du zinc avec le comburant. En la considérant à ce point de vue, la pile qui rend des services précieux en télégraphie, pour les sonneries d'appartement, les appareils médicaux, les expériences de laboratoire, etc., est absolument impropre à fournir de *grandes quantités* d'électricité. Le zinc est un combustible cher ; à poids égal il coûte quinze fois plus que la houille et développe cinq fois moins de chaleur. Ce fait seul suffit à expliquer l'abandon presque complet des piles pour l'éclairage électrique et les recherches qui se font en ce moment en thermo-électricité et en machines électro-dynamiques.

Malgré la complication qu'amène l'emploi des machines, on les préfère pour cet usage ainsi que pour la galvanoplastie et bien d'autres applications que nous étudierons par la suite.

Il faut donc réserver les piles pour des travaux où l'électricité joue un rôle plus par la rapidité et la délicatesse de son action que par sa puissance. Nous en verrons de remarquables applications en télégraphie et en téléphonie. Pour l'éclairage électrique et les moteurs, là où il faut fournir des calories et du travail, la pile a l'inconvénient de brûler un combustible trop cher, le zinc, et de le brûler trop lentement, ce qui oblige à employer un nombre considérable d'éléments pour n'obtenir qu'un faible travail maximum disponible.

A moins d'une révolution complète dans la production de l'électricité par l'action chimique directe, les principes actuellement connus ne permettent par d'établir une pile à la fois puissante et économique pour les applications qui exigent ces deux qualités réunies à un très haut degré.

Digitized by Google

CHAPITRE II

PILES THERMO-ÉLECTRIQUES

Les *piles thermo-électriques* sont des appareils qui transforment directement la chaleur en électricité. La découverte de ce fait, de la plus haute importance, fut faite en 1821 par *Seebeck*, professeur à Berlin. En soudant sur une lame de bismuth les extrémités

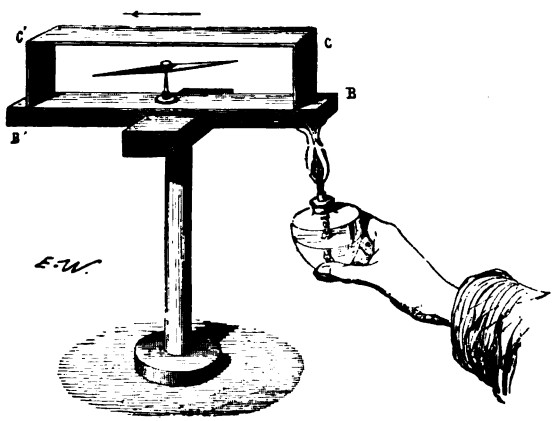


Fig. 13. — Expérience de Seebeck.

d'une lame de cuivre recourbée de manière à laisser un espace vide entre les deux lames, Seebeck reconnut qu'en chauffant une des soudures de ce système métallique, une aiguille aimantée, placée entre les deux lames, se trouvait déviée, le courant allant toujours de la soudure chaude à la soudure froide à travers la

Digitized by Google

lame de cuivre, et de la soudure froide à la soudure chaude à travers la lame de bismuth.

Becquerel attribue la production du courant dans les couples thermo-électriques à l'inégale propagation du calorique à travers les différentes parties du circuit hétérogène constitué par les deux métaux différents.

Quels que soient les métaux qui entrent dans la composition des couples thermo-électriques, ils se distinguent facilement des couples hydro-électriques par la nature des courants engendrés. Dans la pile, en effet, chaque couple ou élément possède une forte tension variant de 1 à 2 volts et une assez grande résistance intérieure (variant de 0,2 à 15 et 20 ohms); dans le couple thermo-électrique au contraire, pour une différence de température que nous supposons être de 100° entre les soudures, la force électro-motrice, très variable avec la nature des éléments constitutifs et la température *moyenne* des deux soudures, varie entre $\frac{1}{20}$ et $\frac{1}{300}$ de volt, tandis que la résistance intérieure de l'élément est extrêmement faible. On exprime ce fait en disant que les piles thermo-électriques donnent de la quantité et peu de tension, aussi faut-il en réunir un grand nombre en tension pour avoir une certaine force électro-motrice. Nous donnerons quelques chiffres relatifs aux divers éléments que nous décrirons.

Becquerel, en faisant des expériences entre 0° et 20° sur différents métaux, a pu les classer dans un ordre tel que chacun d'eux est positif par rapport à ceux qui le précèdent et négatif par rapport à ceux qui le suivent. Voici l'ordre des métaux expérimentés par Becquerel :

Bismuth, platine, argent, étain, plomb, cuivre, or, zinc, fer, antimoine. Il semblerait, *à priori*, qu'en prenant, pour former un couple thermo-électrique les éléments les plus éloignés de la série, on puisse obtenir, pour une différence de température donnée, la plus grande force électro-motrice. D'autres considérations d'ordre théorique et pratique montrent qu'il n'en est rien.

La pratique indique le choix de métaux, d'alliages ou de substances dans lesquelles la différence de température des soudures

Digitized by Google

puisse être maintenue au plus haut degré possible sans altérer la pile. Au point de vue du prix d'établissement d'une pile, la nature des métaux employés joue aussi un certain rôle.

La loi des courants thermo-électriques qui établit que la force électro-motrice est proportionnelle à la différence des températures n'est exacte qu'à la condition de faire intervenir une considération spéciale à la *température moyenne* des deux soudures et au *point neutre* qui varie avec la nature des métaux employés. Un exemple fera mieux comprendre qu'une explication théorique ce qu'il faut entendre par point neutre dans un couple thermo-électrique.

Prenons, par exemple, un couple thermo-électrique constitué par les deux métaux cuivre et fer. Supposons que la soudure froide du couple soit à 70° et la soudure chaude à 450°. Le couple ainsi constitué ne sera traversé par *aucun courant*, bien que la différence de la température des deux soudures atteigne 380°. Cela tient à ce que le *point neutre* du fer par rapport au cuivre est à 210°, c'est-à-dire qu'à 210° le courant thermo-électrique fourni par les deux métaux *change de signe*, et comme la température moyenne entre les deux soudures est précisément égale à 210°, il en résulte la production de deux courants égaux en tension, mais de signes contraires qui, par conséquent, se détruisent.

Tout en maintenant une grande différence de température entre les deux soudures d'un couple thermo-électrique, il faut donc éviter que les températures soient, l'une supérieure et l'autre inférieure au *point neutre* correspondant aux deux métaux qui composent le couple, car on ne recueillerait alors qu'un courant différentiel, susceptible de devenir nul lorsque la température moyenne des deux soudures correspond au point neutre [1].

Dans un couple thermo-électrique, si la différence des températures est constante, le courant est lui-même constant, car il ne se produit pas de polarisation ni de variation dans la résistance du couple. La force électro-motrice d'une pile thermo-électrique est

1. Voir, pour plus de détails, *Electricity and magnetism* de Fleeming-Jenkin et les *Philosophical transactions* 1856, page 708.

Digitized by Google

proportionnelle au nombre des éléments qui la constituent, absolument comme pour les piles hydro-électriques.

Ces principes une fois posés, nous allons passer en revue les différents couples thermo-électriques employés dans la pratique.

Œrsted et Fourier ont construit la première pile thermo-électrique proprement dite; elle se composait de petits barreaux de bismuth et d'antimoine soudés à la suite les uns des autres en ligne droite. Les barreaux de bismuth se terminaient par une partie soudée qui plongeait dans de la glace à zéro, tandis que les autres soudures étaient portées à une température de 200 à 800° par de petites lampes.

Nobili a simplifié la pile de Fourier en repliant les barreaux en zigzag, il a pu faire rentrer 50 éléments dans un cube de 2 centimètres de côté. M. Melloni l'a appliquée à son thermo-multiplicateur.

Pile de Marcus. — Elle est fondée sur l'emploi d'alliages au lieu de métaux simples, l'un formé de nickel, cuivre et zinc, connu sous le nom d'*argent allemand*, l'autre d'antimoine, de zinc et de bismuth; les soudures homologues pourraient être chauffées chacune par un petit bec Bunsen. Wheatstone et M. Ladd construisirent chacun une pile avec les alliages préconisés par Marcus et purent obtenir, le premier des étincelles, l'incandescence d'un fil de platine et la décomposition de l'eau dans un voltamètre; le second put faire fonctionner une bobine de Ruhmkorff donnant 38 millimètres d'étincelle.

Pile de Farmer. — M. Farmer, de Boston, avait présenté en 1868 une pile analogue à celle de Marcus dont les lames positives étaient constituées par un alliage de 10 parties de cuivre, 6 de zinc et 6 de nickel, et les lames négatives par un alliage de 12 parties d'antimoine, 5 de zinc et 1 de bismuth; les deux métaux étaient vissés l'un dans l'autre, les jonctions inférieures chauffées par un bec de gaz et les jonctions supérieures refroidies par un courant d'eau.

Pile de M. Ed. Becquerel. — En 1865, M. Ed. Becquerel, en faisant des recherches sur le pouvoir thermo-électrique du sul-

Digitized by Google

fure de cuivre artificiel, trouva que cette substance chauffée à 200 ou 300° est fortement positive, le sulfure artificiel ne fondant qu'à plus de 1000°. On peut l'employer à des températures très élevées. Le métal que lui associa M. Ed. Becquerel est du maillechort (90 de cuivre et 10 de nickel), la pile est chauffée au gaz et refroidie par une circulation d'eau [1].

Toutes ces piles n'ont pas reçu d'applications pratiques et sont restées dans les laboratoires à titre d'appareils d'expériences.

Nous allons examiner maintenant quelques piles thermo-électriques qui ont reçu des applications plus ou moins nombreuses pour la galvanoplastie et, dans ces derniers temps, pour l'éclairage électrique.

Pile thermo-électrique de Noë. — L'usage de cette pile est très répandu en Autriche et en Allemagne. Sous la forme représentée figure 14 elle n'exige que deux brûleurs Bunsen pour mettre en action quarante éléments, trois pour soixante éléments et ainsi de suite par groupe de vingt, suivant les applications qu'on a en vue.

Les éléments dans chaque groupe sont placés horizontalement et se présentent comme les rayons d'un cercle, les soudures chaudes au centre, les soudures froides à la circonférence.

Les deux métaux employés sont du maillechort ou *argentan*, et un alliage d'antimoine et de zinc. A la soudure chaude ces métaux sont soudés ensemble sans l'intermédiaire d'aucun autre métal ; les fils de maillechort pénètrent par leur extrémité dans une petite capsule de laiton qui sert de fond au moule dans lequel on coule l'autre métal. La figure 15 représente deux éléments séparés en grandeur naturelle ; la petite capsule *c* reste attachée à l'élément et fait partie de l'appareil. Dans cette même capsule pénètre une petite tige de cuivre rouge *r*, dont l'extrémité se trouve également saisie dans le métal fondu et qui amène la chaleur à la soudure chaude par conductibilité.

Les extrémités de ces tiges de cuivre forment un petit cercle,

1. Voir la description et les dessins dans le *Traité élémentaire de physique* de Ganot, 17e édition.

Digitized by Google

saisies entre deux lames de mica et chauffées toutes à la fois par une flamme unique, un brûleur de Bunsen le plus souvent. On emploie quelquefois une lampe à esprit-de-vin.

En chauffant les soudures par conductibilité, on les ménage et on les protège contre le surchauffage qui aurait pour effet de fondre le métal et de mettre la pile hors de service. On évite la perte de cha-

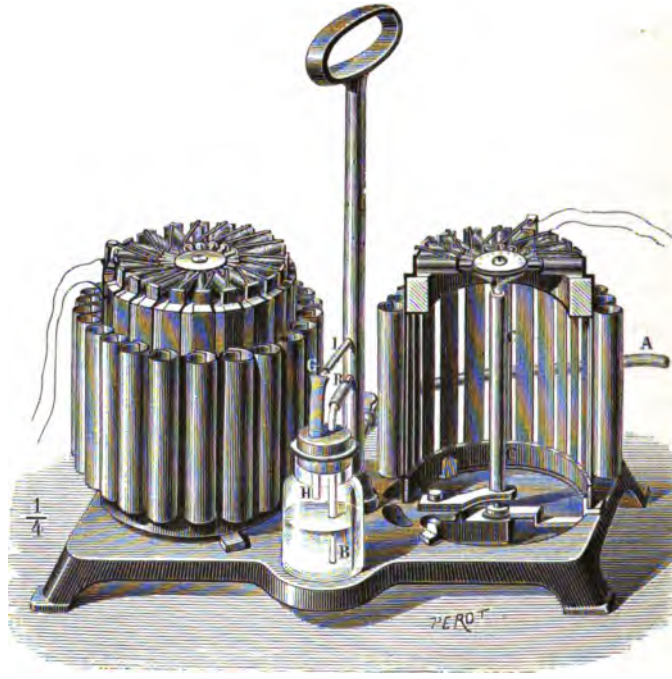


Fig. 14. — Pile thermo-électrique de Noë.

leur par rayonnement de ces petites tiges de cuivre en les recouvrant d'un petit tube isolant *t* (fig. 15).

Pour la soudure froide, le métal fusible est soudé à une plaque de cuivre à laquelle on soude les fils de maillechort de l'élément suivant ; la plaque de cuivre de forme cylindrique présente une grande surface de rayonnement favorable à son refroidissement auquel contribue d'ailleurs la circulation d'air qui se fait à l'intérieur des tubes de cuivre.

Digitized by Google

Si l'on se met dans les meilleures conditions possibles, c'est-à-dire en chauffant les soudures à un degré très voisin de leur point de fusion, tandis que les éléments Marcus ne donnent qu'une force électro-motrice de $\frac{1}{18}$ de volt, les éléments Noë, d'après les expériences de M. Waltenhofen, ont une force électro-motrice comprise entre $\frac{1}{9}$ et $\frac{1}{10}$ de volt.

En pratique, ces chiffres ne sont pas atteints, car on ne peut pas chauffer également tous les éléments, et il faut compter sur une moyenne de $\frac{1}{16}$ de volt par élément ; dans ces conditions la résistance intérieure est égale à $\frac{1}{40}$ d'ohm.

Chaque groupe de vingt éléments a donc une force électro-motrice de 1,25 volts et une résistance intérieure de 0,5 ohm.

Signalons, comme perfectionnement pratique, un régulateur de la pression du gaz qui évite un surchauffage de la pile et les accidents qui en dérivent.

Cet appareil de sûreté consiste en un flacon de verre (fig. 14) contenant de l'eau et fermé par un bouchon de liège. Deux tubes y pénètrent : le premier BB est un branchement du tube d'arrivée du gaz et va jusqu'au fond du flacon ; le second H n'arrive pas jusqu'au niveau de l'eau, il sert à évacuer le gaz qui peut se dégager dans le flacon et l'amène devant un autre petit branchement terminé par un bec de gaz I, constamment allumé. Si la pression pour laquelle l'appareil est réglé est dépassée, le gaz sort en bulles dans le flacon, traverse l'eau, sort en G et s'enflamme pour ne pas produire d'accidents ou répandre une mauvaise odeur.

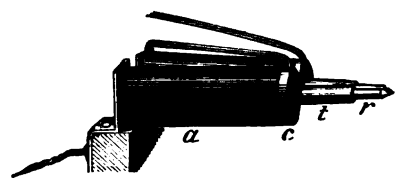


Fig. 15. — Détail d'un élément de la pile thermo-électrique de Noë.

Le flacon fonctionne donc comme une véritable soupape de sûreté. Il suffit de vingt éléments pour décomposer l'eau et de quarante pour charger une pile secondaire de M. Gaston Planté et faire fonctionner une bobine d'induction.

Il suffit de deux minutes pour que la pile fournisse le courant,

Digitized by Google

et l'on peut arrêter le fonctionnement dès qu'on n'a plus besoin

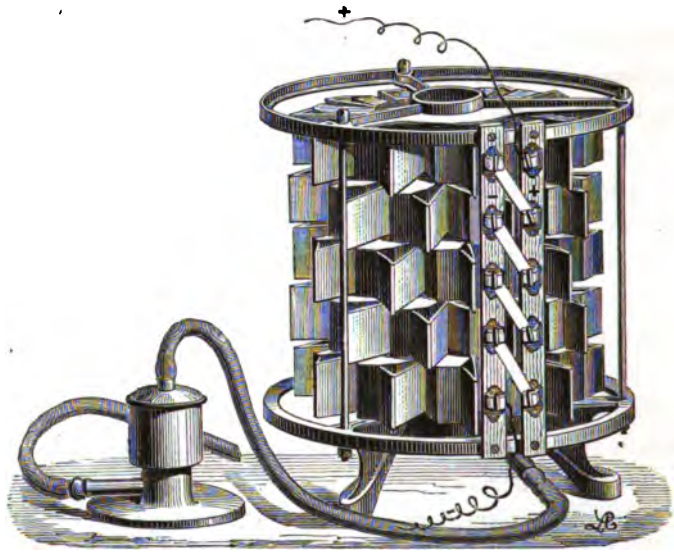


Fig. 16. — Pile thermo-électrique de M. Clamond, chauffée au gaz.

d'électricité. La pile ne s'altère pas avec le temps comme les autres piles décrites jusqu'ici, dans lesquelles le chauffage continu

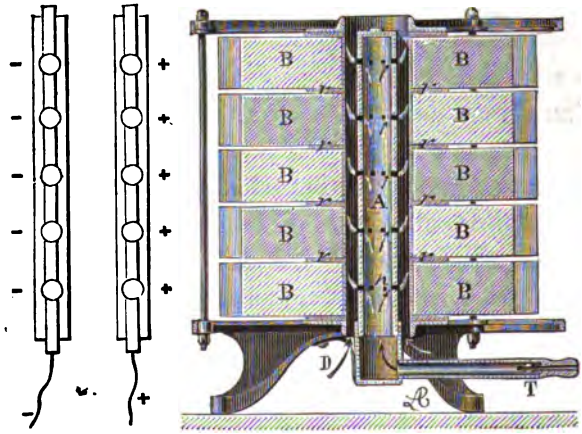


Fig. 17. — Pile thermo-électrique de M. Clamond. — Coupe suivant l'axe vertical.

T. Tubulure servant à l'arrivée du gaz. — A. Tuyau en terre réfractaire percé de trous à travers lesquels s'échappe le gaz mélangé d'air pour brûler dans l'espace annulaire extérieur. — D. Prise d'air servant à la combustion. — B, B. Barreaux thermo-électriques. — *r*, *r*. Rondelles en amiante servant à isoler les éléments du générateur.

Digitized by Google

produirait une augmentation considérable de la résistance intérieure et par suite un affaiblissement correspondant dans l'intensité du courant dans le circuit extérieur.

Pile Mure et Clamond. — La première pile construite par M. Clamond, en collaboration avec M. Mure, fut présentée à l'Ins-

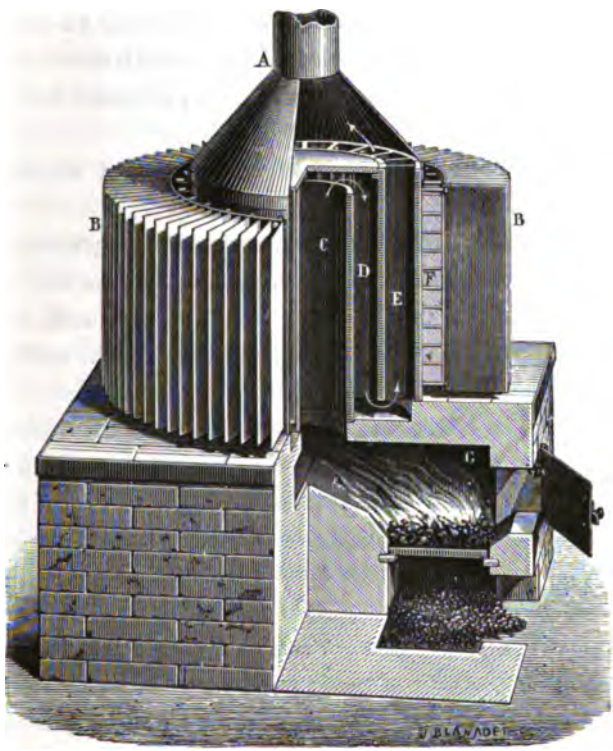


Fig. 18. — Pile thermo-électrique de M. Clamond, chauffage au coke.

titut par Becquerel le 31 mai 1869. Elle était formée de galène et de lames de plomb. Par l'usage, cette pile diminuait d'intensité, par suite de l'augmentation de résistance intérieure provenant de l'oxydation des contacts des lames de fer avec le barreau cristallisé sous l'influence de la chaleur, et, en second lieu, de la fendillation du barreau et de la réparation de ses différentes parties suivant des plans perpendiculaires à sa longueur.

Digitized by Google

Pile Clamond. — Le 20 avril 1874, M. Jamin a présenté à l'Académie des sciences une nouvelle pile de M. Clamond, chauffée au gaz, dans laquelle ces inconvénients sont évités. M. Clamond a adopté, pour la confection de ses couples, l'alliage de zinc et d'antimoine de Marcus, qui est bon conducteur de l'électricité et qui rend la fabrication par coulage beaucoup plus facile. L'armature est formée de lames de fers de préférence au cuivre et à l'argentan, parce que le fer résiste très bien, tandis que ces métaux, attaqués et dissous par l'alliage, sont mis rapidement hors de service.

Les barreaux sont assemblés en couronnes et accouplés en tension.

Ces couronnes superposées, de dix éléments chacune, sont séparées par des rondelles d'amiante. Le tout forme un cylindre luté à l'intérieur par de l'amiante (fig. 16) et chauffé au gaz à l'aide d'un tuyau réfractaire percé de trous. Le gaz, mêlé à l'air, sort de ce tuyau et vient brûler dans l'espace annulaire compris entre le tube et les barreaux. Les extrémités des couronnes viennent aboutir à des pinces en cuivre fixées sur deux planchettes, ce qui permet l'accouplement des couronnes de dix éléments en tension ou en quantité. On règle la dépense de gaz par un rhéomètre Giroud. Les figures 16, 17 et 19 représentent la vue extérieure, la coupe longitudinale et le plan d'une couronne de la pile Clamond ; les légendes qui accompagnent la coupe et le plan suffisent pour en faire comprendre les dispositions. Cet appareil de cinquante éléments dépense 0 fr. 05 de gaz à l'heure et peut déposer 20 grammes de cuivre à l'heure. Il est employé par l'imprimerie de la Banque de France et les ateliers d'héliogravure de MM. Goupil et Cie à Asnières.

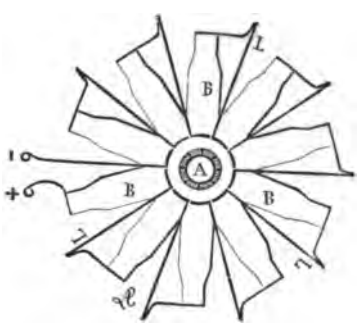


Fig. 19. — Pile thermo-électrique de M. Clamond.

Vue en plan des barreaux assemblés et de leurs armatures. — B, B. Barreaux thermo-électriques. — L, L. Lames formant armatures.

Digitized by Google

Pile Clamond chauffée au coke. — Depuis 1874 M. Clamond a continué ses études sur les piles thermo-électriques et, le 5 mai 1879, M. le comte du Moncel a présenté à l'Académie des sciences une nouvelle pile beaucoup plus puissante que ses devancières avec laquelle on a pu obtenir de la lumière électrique.

La figure 18 (p. 41) représente une vue d'ensemble de la nouvelle pile de M. Clamond; les figures 20, 21 et 22 donnent les détails principaux.

L'ensemble de l'appareil comprend trois parties :

1° Le foyer et le collecteur dont le but est de chauffer les soudures intérieures de la pile ;

2° La pile proprement dite, disposée en couronne ;

3° Le diffuseur qui a pour but de refroidir les soudures extérieures.

Foyer et collecteur. — Le chauffage de la pile se fait à la houille ou au coke. Les gaz de la combustion, en sortant du foyer C (fig. 18), traversent un conduit cylindrique en fonte C, redescendent en D par une série de carneaux disposés en couronne, remontent en E dans une seconde série de carneaux et s'échappent finalement dans l'atmosphère par une cheminée A. Le chauffage des éléments n'est donc pas *direct;* il n'y a même aucun contact entre les éléments et les gaz chauds, mais ces gaz chauffent la masse de fonte dans laquelle ils circulent, cette masse agit comme *collecteur* de chaleur, la communique aux éléments en la répartissant d'une manière plus uniforme.

Pile. — La pile se compose d'une série de *chaînes* disposées en couronne autour du collecteur et chauffées par leur face intérieure. La pile de 3000 couples comprend 60 chaînes de 50 couples chacune.

Chaque couple se compose d'un barreau thermo-électrique de 3 centimètres de longueur, autant de largeur et de 2 centimètres d'épaisseur. Ces petits prismes sont formés d'un alliage de bismuth et d'antimoine et reliés entre eux par des armatures en fer (fig. 20). Ces armatures sont découpées dans des feuilles de

Digitized by Google

tôle mince et tordues à leurs extrémités P et P′ en tire-bouchon. Pour fabriquer une chaîne, on dispose dans un moule spécial une série de ces armatures après avoir entouré la partie pleine G d'un carton d'amiante, et on coule l'alliage dans le moule. Les cinquante éléments sont ainsi fabriqués d'un seul coup, les parties P et P′ de chaque armature sont reliées à deux couples successifs par une *soudure autogène*. Les chaînes sont disposées verticalement et en couronne entre le collecteur A et le diffuseur B (fig. 22) en disposant entre eux et les chaînes des lames minces de mica qui les isolent électriquement, tout en se laissant traverser par la chaleur. Dans la pile de 6000 éléments, on établit deux groupes de 3000 éléments chacun dis-

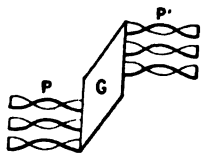


Fig. 20. — Armature d'un élément de la pile Clamond.

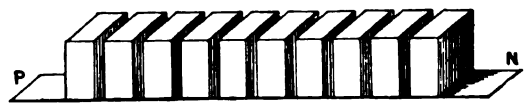


Fig. 21. — Chaîne thermo-électrique de dix éléments.

posés en tension. Pour une température de soudures chaudes de 360° et une température de 80° pour les soudures froides, les 3000 éléments représentant, d'après les expériences de M. G. Cabanellas, une force électro-motrice de 109 volts et une résistance intérieure de 15,5 ohms.

Diffuseur. — Le but du diffuseur est de maintenir les soudures extérieures des chaînes à une température aussi basse que possible, température qui, en pratique, ne dépasse pas 80°. Il se compose d'une série de lames de cuivre placées tout autour de la pile et qui augmentent la surface de refroidissement. Ces lames sont représentées en B (fig. 22). La pile à coke de M. Clamond est donc un véritable *calorifère électrique*, et comme tel peut être établie dans tous les cas où un calorifère trouve son emploi. Le modèle de 6000 couples brûle de 9 à 10 kilogrammes de coke par heure. En disposant deux circuits de 3000 éléments chacun,

Digitized by Google

on peut alimenter deux lampes Serrin qui fournissent une lumière de 30 à 50 becs chacune.

Il y a là des résultats très remarquables et dignes d'être encouragés, aussi regrettons-nous de ne pas voir continuer les expériences commencées en 1879. Bien que jusqu'ici le rendement des piles thermo-électriques, c'est-à-dire le rapport de la chaleur dépensée à la chaleur transformée en électricité, soit très faible (il ne dépasse pas 4 à 5 p. 100), ces appareils sont intéressants, car ils transforment *directement* la chaleur en électricité, tandis que les machines électro-dynamiques, que nous allons examiner maintenant, passent par des intermédiaires complexes. Il est toujours plus facile d'entretenir un calorifère électrique ou d'alimenter une pile à gaz que de passer par l'intermédiaire d'un moteur et d'une machine dynamo-électrique. Nous aurons l'occasion de reparler de cette question au sujet de l'éclairage électrique et de son avenir.

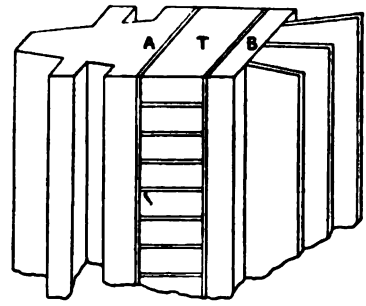


Fig. 22. — Pile Clamond. A, collecteur. — T, chaîne thermo-électrique. — B, diffuseur.

Signalons encore une application de la pile thermo-électrique à la mesure des forces électro-motrices faite par M. Gaugain à l'administration des lignes télégraphiques. M. *Gaugain* emploie des couples bismuth-cuivre disposés en fer-à-cheval les uns à côté des autres sur une traverse de bois qui permet de les soulever ou de les plonger d'un seul coup dans des bains, dont l'un est de l'eau distillée à 0° et l'autre de la paraffine chauffée à 100°. La pile ainsi constituée a une force électro-motrice *constante*, elle forme donc une excellente *pile-étalon*. Sa force électro-motrice est de $\frac{1}{182}$ de volt ; en disposant donc 182 éléments *en tension*, et en maintenant les soudures exactement aux températures de 0° et 100°, on aura une pile dont la force électro-motrice sera de *un volt* d'une manière exacte et constante.

Digitized by Google

M. *Jobert* a imaginé une pile dite *thermo-solaire* dans laquelle on devait produire l'électricité sans dépense de combustible par la projection et la concentration de rayons solaires sur l'une des séries de soudures de la pile à l'aide d'un appareil analogue a un héliostat.

Eu égard au faible rendement des piles thermo-électriques actuellement connues et à la faible quantité de calories émises par le soleil (10 calories par minute et par mètre carré dans les meilleures conditions), l'on peut douter que le courant fourni par la pile thermo-solaire soit suffisant pour mettre en mouvement l'héliostat destiné à concentrer les rayons du soleil sur les soudures.

L'idée de M. Jobert, si ingénieuse soit-elle, n'a aucune valeur pratique, et l'on trouverait à son application les mêmes dificultés, mais considérablement accrues, que rencontre l'appareil Mouchot. L'inconstance de la source calorifique suffit à condamner la pile thermo-solaire de M. Jobert, et à la reléguer dans le domaine de la haute fantaisie.

Digitized by Google

CHAPITRE III

LES MACHINES ÉLECTRO-DYNAMIQUES

La transformation du travail en électricité est le moyen le plus compliqué pour produire un courant électrique ; il est cependant jusqu'ici le plus économique et de beaucoup le plus employé dans toutes les applications qui exigent des courants puissants. Le développement immense qu'a pris l'usage des machines ne date que de quelques années, bien que la découverte du principe fondamental de *toutes* les machines ait été faite en 1830 par *Faraday*.

Elle avait d'ailleurs été préparée par l'expérience d'Œrsted montrant, dès 1820, l'action d'un courant sur l'aiguille aimantée et par Arago quelque temps après, qui découvrit l'aimantation produite par un courant. Puisque l'on connaissait dès 1820 l'action des courants sur les aimants et leur action aimantante sur le fer doux, en raisonnant par le système des réciproques, on aurait pu déduire *à priori* de ce phénomène qu'un aimant persistant, réagissant sur un circuit fermé disposé en spirale, devait déterminer dans ce circuit un courant électrique ; mais ce ne fut qu'en 1830, dit M. le comte du Moncel dans son ouvrage sur l'*Éclairage électrique*, que l'illustre physicien anglais Faraday constata le premier ce phénomène et en détermina les différents caractères.

Nous n'avons pas à faire ici la théorie des courants d'induction produits par l'approche ou l'éloignement d'un aimant ou

Digitized by Google

d'un courant; tous les traités de physique donnent les lois de ces courants, lois formulées pas Lenz et Matteucci.

Toutes les machines électro-dynamiques sont fondées sur la découverte de Faraday et les lois de Lenz et de Matteucci appliquées de façon à recueillir le mieux possible les effets des courants d'induction.

Classification des machines électro-dynamiques. — Il n'existe pas de nom spécial pour désigner l'ensemble des machines qui transforment le travail en électricité; nous avons choisi celui de *machines électro-dynamiques*, qu'il ne faut pas confondre avec dynamo-électriques, comme nous le verrons tout à l'heure, parce que ce mot comprend à la fois la cause qui est le travail, la puissance (δύναμις), et l'effet qui est l'électricité engendrée par ce travail.

Dans toute machine électro-dynamique — le mot *électro-dynamique* défini comme nous venons de le faire — on trouve toujours deux parties fondamentales, nécessaires, indispensables, l'*inducteur* et l'*induit*. En faisant mouvoir l'inducteur devant l'induit ou, le plus souvent, l'induit devant l'inducteur, il se développe dans le fil de l'induit des courants électriques dont la nature, l'intensité et le sens sont définis par les lois de Lenz. Ces lois montrent que, pour obtenir des courants puissants, il faut faire mouvoir les induits avec une grande vitesse devant des inducteurs puissants.

Toute disposition mécanique qui permet d'obtenir ce résultat est une machine électro-dynamique.

Le rôle de l'inducteur est de créer autour de lui un état spécial du mouvement de l'éther auquel on donne le nom de *champ magnétique*.

Ce champ magnétique peut être produit de deux façons très différentes qui constituent la première division à établir entre les machines électro-dynamiques.

Si le champ magnétique de l'inducteur dans lequel se meut l'induit est produit par un *aimant fixe* et permanent, la machine est dite *magnéto-électrique*.

Si le champ magnétique est constitué par un *électro-aimant*,

Digitized by Google

ce qui augmente son intensité, les électro-aimants étant, à poids égal, beaucoup plus puissants que les aimants permanents, la machine est dite *dynamo-électrique*. Ce nom assez impropre, puisqu'il ne rappelle que très indirectement le moyen par lequel le champ magnétique est constitué, est cependant universellement consacré par l'usage et nous le conserverons.

La division ci-dessus repose sur la nature de l'inducteur ; il en existe une seconde, plus importante encore, fondée sur la nature des courants recueillis hors de la machine sur le circuit extérieur.

D'après les lois de Lenz, lorsqu'un élément de spire d'un induit traverse un champ magnétique, le courant engendré dans cet élément circule tantôt dans un sens, et tantôt dans un autre ; il est *alternatif*.

Lorsque la machine recueille directement les courants alternatifs ainsi développés sans le redresser, c'est-à-dire sans les faire passer toujours dans le même sens dans le circuit extérieur, elle est *à courants alternatifs*.

Si, au contraire, la machine redresse les courants alternatifs et les fait circuler toujours dans le même sens dans le circuit extérieur, elle est à *courants continus*.

Nous étudierons seulement les types les plus employés de ces différentes classes de machines :

A. MACHINES A COURANTS CONTINUS.....	*a. Magnéto-électriques.* *b. Dynamo-électriques.*
B. MACHINES A COURANTS ALTERNATIFS...	*c. Magnéto-électriques* *d. Dynamo-électriques.*

A. — MACHINES A COURANTS CONTINUS.

a. — Machines magnéto-électriques.

Bien que la découverte de l'induction remonte à Faraday en 1830, ce fut seulement le 31 janvier 1832 que Nobili obtint pour la première fois, à Florence, l'étincelle produite par un

Digitized by Google

effet d'induction, mais il n'y avait pas encore de courant proprement dit.

La première machine fournissant un courant fut construite par Hippolyte Pixii, de Paris, et présentée à l'Académie des sciences le 3 septembre 1832.

Machines de Pixii. — Nous ne citons cette machine historique que pour signaler une particularité assez curieuse et que nous ne retrouverons dans aucune autre machine magnéto-électrique. L'appareil bien connu se compose de deux bobines et d'un aimant en fer à cheval dont les pôles sont placés en face des bobines, et tournent de façon à venir présenter successivement leurs deux pôles devant les extrémités des bobines.

Au lieu de faire mouvoir l'induit dans le champ magnétique, on fait mouvoir le champ magnétique devant l'induit, mais cette disposition ne change rien au principe. Les courants ainsi développés sont alternatifs, mais, à l'aide d'un *commutateur* imaginé par Clarke, on redressa les courants et la machine de Pixii fut la première machine à courants continus.

Le premier perfectionnement qui y fut apporté est dû à Saxton.

Machine de Saxton. — La machine de Saxton est disposée comme la machine de Pixii, c'est-à-dire que l'aimant et les bobines sont placés bout à bout, mais les aimants sont fixes et les bobines mobiles. Il en résulte que, la masse à mettre en mouvement étant moins grande, la machine peut être plus légère à puissance égale.

Machine de Clarke. — En 1834, Clarke construisit une machine dans laquelle l'aimant était vertical et les bobines horizontales ; elles se présentaient donc à l'inducteur, non plus par les bouts, mais par les faces applaties de l'aimant en fer à cheval. C'est sous cette forme que les machines magnéto-électriques se sont répandues dans tous les cabinets de physique et qu'aujourd'hui encore on les emploie en médecine.

Machine de Clarke, modèle de M. Gaiffe. — On voit dans la machine de M. Gaiffe (fig. 23) l'aimant en fer à cheval ABB′, une des bobines H de l'armature de fer doux tournant

Digitized by Google

devant les branches de l'aimant, la roue dentée R et la manivelle M qui servent à communiquer le mouvement de rotation aux bobines.

Tout l'appareil avec les poignées, la manivelle et les accessoires peut se renfermer dans une petite boîte.

Fig. 23. — Machine de Clarke, modèle de M. Gaiffe.

On peut faire varier la puissance des courants en augmentant la vitesse de rotation et en *armant* l'aimant qui, dans ces conditions, fournit un courant moins puissant.

Machine de Page. — En 1835, Page, en Amérique, fit une machine dans laquelle l'aimant et les bobines étaient fixes, celles-ci entourant celui-là. Le courant était engendré par le mouvement rapide d'une armature en fer doux tournant devant les extrémités de l'aimant, et produisant des courants alternatifs par surexcitations et affaiblissements successifs du champ magnétique ; ces cou-

Digitized by Google

rants étaient ensuite redressés à la manière ordinaire par un commutateur de Clarke.

Toutes ces machines et plusieurs autres basées sur les mêmes principes n'étaient encore que des appareils de faible puissance dont les applications restaient fort restreintes. En 1849, M. *Nollet*, alors professeur de physique à l'école militaire de Bruxelles, se proposa de construire une machine de Clarke dans de grandes proportions et créa la machine connue aujourd'hui sous le nom de *Machine de l'Alliance*.

Les appareils de Nollet ne purent donner de bons résultats que lorsque *Masson*, professeur à l'École centrale, suggéra à *Van Malderen*, ingénieur de la compagnie *l'Alliance*, l'idée de ne pas redresser inutilement les courants et de transformer la machine à courants continus en machine à courants alternatifs ; nous y reviendrons plus tard lorsque nous parlerons de ces machines.

Bobine de Siemens. — En 1854, MM. *Siemens et Halske*, de Berlin, firent faire un grand progrès à la question en imaginant la bobine qui porte leur nom et que nous retrouverons dans un grand nombre d'appareils, tels que ceux de Wilde, Ladd, Marcel Deprez, etc.

La bobine de Siemens est un cylindre de fer doux portant deux rainures longitudinales parallèles à son axe qui lui donnent, en section transversale, la forme d'un double T. Ces rainures servent à loger un fil de cuivre isolé, roulé un grand nombre de fois sur lui-même et dont les extrémités viennent se fixer aux deux moitiés d'un commutateur redresseur de courants, comme dans les machines de Clarke. En faisant tourner rapidement cette bobine entre les pôles d'un aimant, il se développe dans le fil des courants d'induction dus aux polarités alternativement inverses que prennent les deux pôles allongés de la bobine ; ces courants sont ensuite redressés et recueillis à la manière ordinaire. En 1879, M. *Marcel Deprez* a modifié la machine de Siemens en disposant l'axe de la bobine parallèlement aux branches de l'aimant. A poids égal, la machine de M. Marcel Deprez est plus puissante que celle de M. Siemens parce qu'elle utilise mieux le magnétisme

Digitized by Google

de l'aimant. Nous en reparlerons à propos des moteurs électrique, car la machine Siemens, et, en général, toutes les machines électro-dynamiques à courant continu sont *réversibles*, c'est-à-dire que, si elles développent de l'électricité en dépensant du travail, on peut, en leur faisant dépenser de l'électricité fournie par une source quelconque, développer du travail.

Pour clore la série de machines magnéto-électriques à courants continus, nous aurions encore à parler des machines de Gramme, modèle de laboratoire, mais nous sommes obligé de réserver cette question jusqu'à la description de l'anneau et du collecteur de Gramme que nous donnerons en parlant des machines dynamo-électriques.

Il se place ,en effet, entre la bobine de Siemens de 1854 et l'anneau de Gramme qui date de 1870, toute une série de principes nouveaux que nous devons exposer avant de parler d'une invention qui a fait faire des progrès si rapides à la production mécanique de l'électricité.

b. — Machines dynamo-électriques à courants continus.

Nous savons que le courant électrique est engendré, dans les machines électro-dynamiques, en faisant mouvoir rapidement le fil induit des bobines dans un champ magnétique puissant formé par l'inducteur. La puissance des courants produits dépend en grande partie de la puissance du champ magnétique.

Machine de Wilde. — Comme, à poids égal, un électro-aimant a une puissance au moins vingt-cinq fois plus grande qu'un aimant en acier, M. *Wilde* pensa qu'en employant des électro-aimants au lieu d'aimants pour inducteurs, on augmenterait ainsi beaucoup l'intensité du champ magnétique et, par suite, l'intensité des courants produits.

La machine de Wilde, qui figura à l'Exposition universelle de 1867, se composait en réalité de deux machines superposées. La première était une machine magnéto-électrique de Siemens qui envoyait le courant dans deux électro-aimants de grande dimen-

Digitized by Google

sion servant d'inducteur à une seconde bobine de Siemens constituant le circuit extérieur.

La petite machine de Wilde sert à alimenter, à *exciter* les inducteurs de la seconde bobine, on lui donne pour cette raison le nom de *machine excitatrice*. Nous la retrouverons dans un grand nombre d'autres générateurs électriques à courant continu ou à courants alternatifs. On la nomme aussi quelquefois *induisante* ou *amorçante*.

Un des inconvénients de cette machine est la grande vitesse qu'il faut donner aux bobines, — 2000 à 2500 tours par minute — ; il en résulte un échauffement considérable qu'on devait combattre par une circulation d'eau froide disposée entre les pièces polaires de l'électro-aimant inducteur de la bobine du circuit extérieur.

La machine de Wilde produisait des effets extraordinaires eu égard à ses faibles dimensions, effets qui furent cependant dépassés par les machines dont nous avons encore à nous occuper.

Machine de Ladd. — La machine de Ladd est la première application d'un nouveau principe découvert en même temps par Wheatstone et Siemens, et présenté à la Société royale de Londres *le même jour*, le 14 février 1867.

Ce principe est celui de l'accroissement successif de puissance d'un système électro-magnétique sous l'influence des courants d'induction qu'il développe. Il suffit pour cela d'une trace de magnétisme provenant, soit de l'action momentanée d'une pile, soit de l'action magnétique du globe terrestre, soit du magnétisme rémanent, pour produire l'action amorçante et l'accroissement de magnétisme jusqu'à un certain maximum dépendant de la vitesse de rotation de la bobine, des résistances du circuit et du point de saturation magnétique de ses inducteurs.

Dans la machine de Ladd, construite sur ce principe, on retrouve les deux bobines de Siemens employées par Wilde, seulement l'aimant permanent est supprimé.

L'électro-aimant est formé de deux larges plaques de fer entourées de fil et formant ainsi deux électro-aimants droits dont les

Digitized by Google

pôles en regard sont de noms contraires ; les deux bobines de Siemens sont disposées transversalement aux deux extrémités de ces électro-aimants. L'une d'elles, la plus petite, envoie le courant qu'elle engendre dans les électro-aimants pour entretenir son magnétisme, la seconde est utilisée à l'alimentation du circuit extérieur.

Il suffit d'une trace de magnétisme rémanent dans les plaques des électro-aimants pour produire, par suite des surexcitations successives, un courant très intense qui donne aux électro-aimants une grande puissance et développe ainsi un champ magnétique d'une très grande intensité. On peut d'ailleurs régler cette puissance du champ magnétique, en modifiant la vitesse de rotation.

L'électricité produite par cette machine, eu égard à ses faibles dimensions, étonna beaucoup les visiteurs de l'Exposition de 1867.

Aujourd'hui ces résultats sont dépassés de beaucoup par les machines de Gramme et de Siemens.

La grande vitesse donnée aux bobines dégageait une chaleur considérable dans la machine, chaleur due aux changements rapides de magnétisme du fer doux. D'autre part, l'emploi de deux bobines distinctes compliquait la transmission de mouvement, car il fallait deux poulies et deux courroies.

Ruhmkorff simplifia la machine de Ladd en disposant les deux bobines sur le même axe et à angle droit ; l'électro-aimant inducteur est en forme de fer à cheval, on n'a alors qu'un seul axe à mettre en mouvement.

Dans les machines construites par *M. Gaiffe*, il n'y a même qu'une seule bobine sur laquelle on roule deux fils complètement distincts dont l'un sert à alimenter les inducteurs et l'autre correspond au circuit extérieur.

Les modèles de MM. Gaiffe et Ruhmkorff sont de petites dimensions et ne constituent que des appareils d'expériences et de laboratoire. Quant aux machines originales de Wilde et de Ladd, capables de fournir des courants assez puissants pour produire la lumière électrique, il n'en a pas été construit d'autres depuis les nouvelles machines de Gramme, Siemens, Loutin, etc.

Digitized by Google

Mode d'excitation des inducteurs dans les machines dynamo-électriques. — Quelle que soit la forme de l'induit, bobines de Clarke, bobine de Siemens, anneau de Gramme, etc., on peut diviser les machines dynamo-électriques en trois classes qui se distinguent par la manière dont on excite les électro-aimants inducteurs.

1re *classe.* — Dans la machine de Ladd, qui est le type de cette classe, les inducteurs sont excités par un circuit distinct parfaitement séparé, alimenté par une machine spéciale.

2e *classe.* — Les électro-aimants formant le champ magnétique sont disposés *dans le même circuit* que l'induit et le circuit extérieurs. C'est la disposition imaginée par Wheatstone et Siemens en 1867 et appliquée aujourd'hui à la presque totalité des machines dynamo-électriques.

3e *classe.* — La disposition qui caractérise les machines de cette classe a été aussi imaginée par Wheatstone en 1867, mais elle n'a été reprise que cette année par M. Siemens qui, en étudiant leurs conditions de fonctionnement, leur a reconnu des avantages qui augmenteront bientôt le nombre de leurs applications dès que les constructeurs auront su les apprécier. Cette disposition consiste à disposer les inducteurs *en dérivation* sur le circuit, au lieu de les placer dans le même circuit, à la condition de disposer sur ces inducteurs un fil assez long et assez résistant. Il en résulte pour la machine des conditions de fonctionnement beaucoup plus favorables à la régularité du courant[1].

Toutes les machines que nous allons maintenant examiner appartiennent à la seconde classe, c'est-à-dire que le courant développé dans l'induit traverse l'inducteur pour en surexciter l'aimantation, et le circuit extérieur ou circuit utile pour se transformer ensuite en lumière, chaleur, travail, action chimique, etc.

Principe de la machine de Gramme. — Depuis la découverte de Siemens et Wheatstone, on n'a pas à signaler de plus grand progrès dans la production mécanique de l'électricité que

1. Voir pour plus de détails *la Lumière électrique* du 15 avril 1880, p. 151.

Digitized by Google

l'invention faite en 1870, par un ancien ouvrier de la Compagnie *l'Alliance*. C'est grâce à la machine de M. *Gramme* (Zénobe-

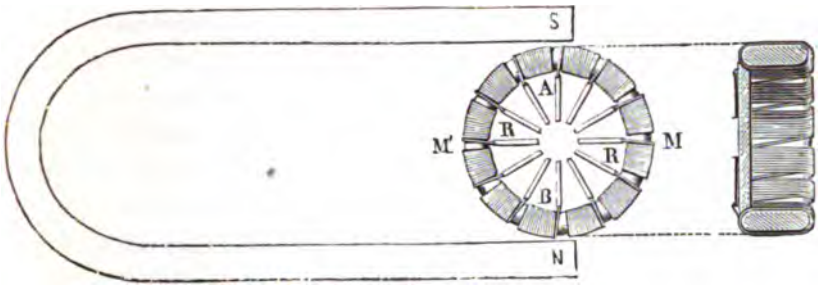


Fig. 24. — Principe de l'anneau de Gramme.

Théophile) que les applications de l'électricité à l'éclairage, à la galvanoplastie et au transport de force motrice ont reçu de si

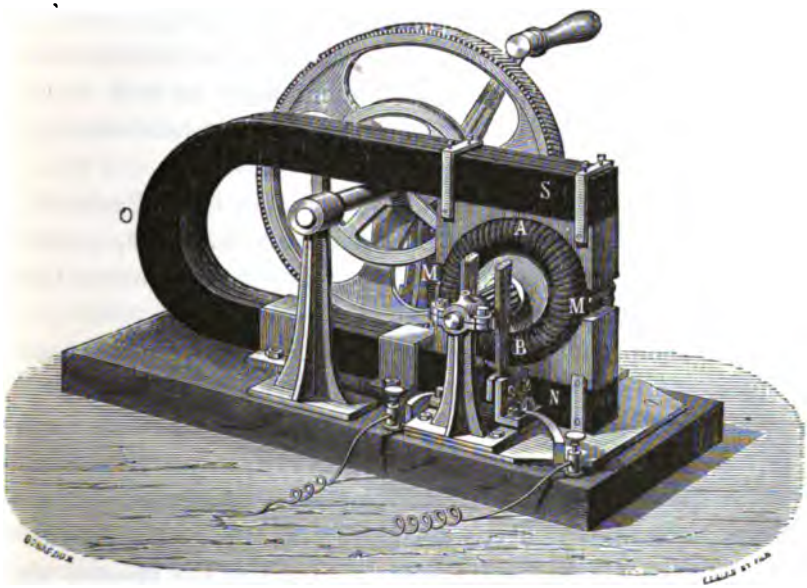


Fig. 25. — Machine Gramme de laboratoire à aimants ordinaires.

grands développements depuis quelques années, développements dont on ne peut encore limiter ni prévoir l'importance et l'avenir.

Digitized by Google

L'induit mobile de Gramme présente l'aspect d'un *anneau* tournant autour de son centre et dans son plan ; on peut le concevoir comme formé par un électro-aimant droit qu'on aurait courbé en cercle et qu'on aurait soudé par ses extrémités, le fer avec le fer, le fil avec le fil.

Remarquons que l'idée d'employer un anneau pour constituer l'induit mobile n'est pas nouvelle. On pourrait le faire remonter à Page qui, dès 1852, construisit un *moteur* fondé sur ce principe. En 1861, M. *Pacinotti* construisit aussi un moteur dont le principe était identique à la machine de Gramme; mais la machine de Pacinotti, dont il indiquait seulement en 1864 la réversibilité, n'a jamais donné de bons résultats, et même, s'il faut en croire le docteur Schellen, les collecteurs étaient placés dans une position telle que le fonctionnement était, par ce fait seul, rendu impossible.

En 1866, *M. Worms de Romilly* avait aussi imaginé une machine avec induit en forme d'anneau, mais les bobines étaient enroulées sur l'anneau alternativement dans un sens et dans l'autre, ce qui nécessitait l'emploi d'un commutateur assez compliqué.

La machine de Gramme, malgré la priorité de Pacinotti, a donc une valeur réelle et absolument personnelle, justifiée d'ailleurs par son succès dans les applications que nous examinerons au cours de ce volume.

Pour comprendre l'action de la machine de Gramme, reportons-nous à l'expérience la plus simple de l'induction.

Considérons un barreau aimanté d'un mètre de long et une spire de fil conducteur en mouvement réciproque ; si on approche la spire du barreau, il s'y développe un courant d'induction.

Supposons que le barreau pénètre dans la spire par une série de mouvements successifs d'égale étendue. On observe qu'à chacun de ces mouvements correspond un courant d'induction; tous ces courants sont de même sens jusqu'à ce que la spire arrive en face de la ligne neutre; ils changent de sens si l'on continue le mouvement dans le même sens au delà du point

Digitized by Google

neutre. Que se passe-t-il dans l'anneau de Gramme? L'anneau de fer est aimanté par influence de l'aimant, et le magnétisme s'y trouve distribué de la manière suivante :

Les pôles sont en A et B (fig. 24) et les parties neutres en M et M'.

En faisant tourner l'anneau, cette distribution du magnétisme ne change pas, les pôles sont fixes dans l'espace, bien que l'anneau se déplace, la force coercitive du fer doux qui le constitue étant nulle ou négligeable.

Tout se passe donc comme si le fer était immobile et si les spires de fil seules se mouvaient sur un barreau aimanté.

Dans chacune des bobines élémentaires il se développe donc un courant qui, partant d'un des pôles A, reste direct jusqu'à la ligne neutre M, prend le sens inverse de M jusqu'en B, garde ce sens de B à la ligne neutre M', et redevient direct de M' au pôle A. Le courant reste donc de même sens d'un point neutre à l'autre.

Toutes les bobines qui, à un moment donné, sont dans le demi-cercle supérieur, sont toutes à la fois parcourues par des courants de sens direct qui s'ajoutent *en tension;* les bobines du demi-cercle inférieur sont parcourues par des courants de sens inverse, associés aussi en tension. Il y a donc équilibre, et on peut comparer le système à deux séries de piles égales en nombre et en puissance associées en opposition. En mettant les deux extrémités d'un circuit extérieur en communication avec les pôles opposés communs des deux piles, ces piles sont associées en quantité : de même en établissant des *collecteurs* sur les points neutres de l'anneau, on peut recueillir les courants développés dans l'anneau. Ces collecteurs sont formés de pinceaux ou balais de cuivre qui frottent sur une série de pièces rayonnantes R isolées les unes des autres et rattachées chacune au bout sortant d'une bobine et au bout entrant de la voisine. Ces courants sont donc recueillis sur les pièces R comme ils le seraient sur la soudure même d'une bobine à l'autre.

Dans la figure 25, où la machine est représentée dans sa forme pratique, les pièces R sont rapprochées en un cylindre de petit diamètre, mais toujours isolées les unes des autres.

Digitized by Google

Entre certaines limites, la force électro-motrice augmente proportionnellement à la vitesse ; le sens du courant change avec le sens de la rotation. Le courant est continu, car le circuit n'est jamais rompu et les frotteurs ou balais commencent à toucher l'un des rayons avant d'avoir abandonné le précédent.

A cause de leur flexibilité et du grand nombre de petits fils de cuivre qui les composent, ils touchent toujours par quelques-unes de leurs parties sinon par toute leur largeur.

En changeant la grosseur du fil des bobines, on peut leur faire produire à volonté de la tension ou de la quantité ; le fil fin augmente la résistance intérieure et la tension du courant, le fil gros diminue cette résistance et augmente la quantité aux dépens de la tension. Tension et quantité sont donc les deux éléments d'une circulation électrique comme la pression et le volume débité sont les éléments de la circulation des fluides en hydraulique. L'énergie dépensée dans chaque cas est le produit des deux facteurs, produit constant pour des facteurs variables à l'infini.

Machine de Gramme à aimants Jamin. — M. Gramme a construit un assez grand nombre de modèles de machines fondées sur le principe de l'anneau et du collecteur. Celle que nous avons prise comme type, pour expliquer la production des courants et la manière de les recueillir, est magnéto-électrique.

La figure 26 représente le modèle de machine magnéto-électrique à laquelle M. Gramme a appliqué fort heureusement les aimants feuilletés de M. Jamin. Des expériences nombreuses et précises ont prouvé que les aimants feuilletés, à poids égal, sont beaucoup plus puissants que les aimants ordinaires, à la condition de munir leurs extrémités (fig. 26 et 27) de pièces de fer doux qui partagent leur magnétisme avec les extrémités de l'aimant.

Avant l'adjonction des armatures de fer doux, on ne pouvait superposer que cinq ou six lames utilement ; avec les armatures en fer doux, on peut superposer jusqu'à vingt lames. Ajoutons à la grande puissance des aimants Jamin, l'avantage d'avoir, pour une même masse d'acier, une surface magnétique beaucoup

Digitized by Google

plus grande, car le magnétisme est surtout puissant à la surface, et une grande facilité pour le montage, le démontage et le remplacement des lames.

La machine magnéto-électrique à aimants Jamin est maintenant très employée dans les laboratoires. On la met en mouve-

Fig. 26. — Machine Gramme à aimant Jamin. Petit modèle de laboratoire.

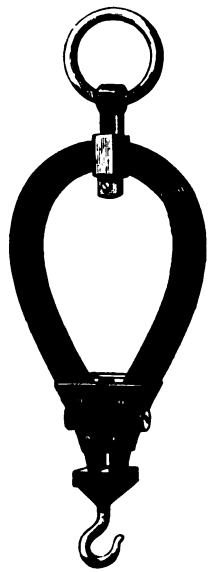


Fig. 27. — Aimant Jamin.

ment très aisément à la pédale ou à la manivelle ; elle rend de très grands services pour des expériences de courte durée, le chargement des piles secondaires, etc., etc.

Machines dynamo-électriques de Gramme. — Quelle que soit la puissance du champ magnétique développé par un aimant Jamin, elle est loin d'être équivalente à celle d'un électro-aimant, et bien que, théoriquement, les machines magnéto-électriques puissent avoir un rendement un peu plus grand que les machines dynamo-électriques, on leur préfère ces dernières qui, à poids égal, transforment en électricité un travail beaucoup plus considérable que les premières.

C'est pour ces raisons que M. Gramme, après avoir construi.

Digitized by Google

les machines que nous venons d'examiner, et qui sont toujours restées des appareils peu puissants, appliqua à son anneau le principe découvert par Wheatstone et Siemens.

La première machine dynamo-électrique construite par l'inventeur date de 1872 ; elle fut appliquée à la galvanoplastie dans les ateliers de MM. Christofle et Cie. Elle comprenait quatre barres d'électro-aimants et deux bobines.

La première machine de Gramme étudiée pour la lumière électrique avait six barres d'électro-aimants et trois bobines.

On retrouve dans ces deux premières machines le principe appliqué par Ladd à son générateur électrique. Un des anneaux servait à exciter les inducteurs, les deux autres fournissaient le courant extérieur et pouvaient être groupés, suivant les applications, en tension ou en quantité.

La figure 28 (p. 64) représente un autre modèle plus petit dans lequel il n'y a plus que deux anneaux, dont l'un sert à produire le champ magnétique et l'autre à alimenter le circuit extérieur.

Dans un autre modèle, il n'y a qu'un seul anneau formé de 120 bobines partielles, mais raccordées à deux collecteurs disposés de chaque côté de l'anneau, de façon que toutes les bobines de rang pair, par exemple, correspondent au collecteur de droite, et toutes les bobines de rang impair au collecteur de gauche ; il en résulte que la machine fonctionne comme s'il y avait deux anneaux distincts qu'on peut ensuite grouper en tension ou en quantité.

Dans cette machine, les inducteurs sont disposés dans le même circuit que les bobines, comme l'indiquaient Wheatstone et Siemens en 1867, mais, d'après M. Fontaine, le brevet de Gramme relatant cette disposition serait antérieur à la communication de ces deux savants ; de simplification en simplification l'inventeur a été amené à établir, pour l'industrie, un type à deux barres d'électro-aimants et à n'employer qu'un seul anneau central.

La machine ainsi constituée est dite *type d'atelier* ou *type* A ; elle est représentée figure 29 (p. 65). On y retrouve la bobine et

Digitized by Google

les collecteurs de la machine magnéto-électrique ; les inducteurs se composent de deux tiges en fer doux, fixées sur le bâti et portant en leur milieu, où se trouvent les pôles, deux armatures qui entourent l'anneau sur les trois quarts de sa circonférence pour bien répartir le champ magnétique et augmenter les effets de l'induction.

Dans les machines à galvanoplastie, où il faut de la quantité et peu de tension, la garniture des électro-aimants inducteurs est formée d'une seule bande de cuivre mince, tenant toute la largeur d'une demi-barre d'électro-aimant; la bobine est elle-même formée de fil méplat très épais, assez fort pour s'opposer aux effets de la force centrifuge.

La machine Gramme, sous sa forme actuelle, réalise toutes les conditions qu'un bon générateur électrique doit réaliser ; on pourrait seulement lui reprocher les difficultés que présente l'enroulement de l'anneau, difficultés vaincues grâce à l'habileté des constructeurs.

La machine Gramme transforme, dans certaines conditions de circuit extérieur, 85 à 90 p. 100 du travail dépensé sur l'arbre en électricité ; ce chiffre dit assez qu'il n'y a plus rien à faire dans le but d'augmenter le rendement des machines.

Les seuls perfectionnements dont elles sont susceptibles résident surtout dans la facilité de construction, de réparation, et leur diminution de poids et de prix.

Nous allons maintenant passer en revue un certain nombre d'autres machines qui, bien que basées pour la plupart sur les principes que nous venons d'exposer, présentent cependant certaines particularités intéressantes à titres très divers.

Machine Schuckert. — La seule particularité intéressante que présente cette machine est de n'être, comme le dit fort justement M. le comte du Moncel dans son livre sur l'*Éclairage électrique*, qu'une copie de l'invention de Gramme.

Dans la machine de Schuckert, l'anneau est plat et l'induction se fait par les faces latérales de l'anneau au lieu de s'effectuer sur la partie cylindrique. Le moindre inconvénient de cette machine

Digitized by Google

est de rendre encore plus difficile l'enroulement du fil sur l'anneau, ce qui ne peut être considéré par personne comme un per-

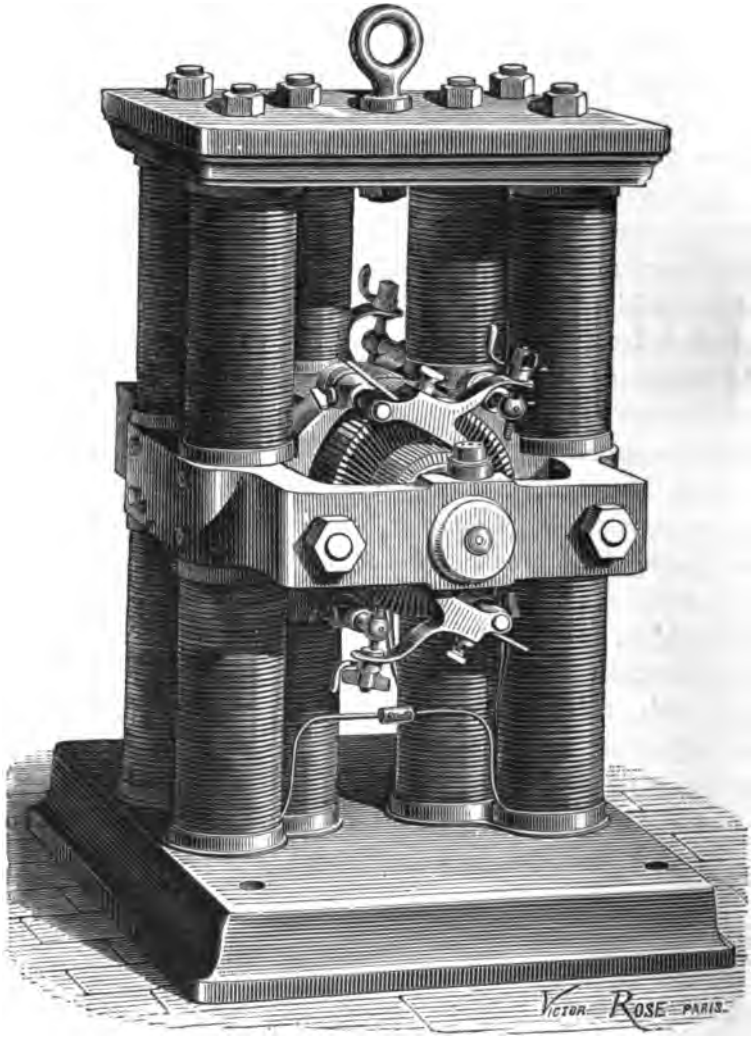


Fig. 28. — Machine Gramme à deux anneaux pour lumière électrique.

fectionnement, mais c'est la seule différence que nous puissions trouver entre les deux machines.

Machine Niaudet. — En 1872, M. Alfred Niaudet combina

Digitized by Google

une machine de type de Clarke munie du collecteur de Gramme. Cette machine est magnéto-électrique (fig. 30), mais sa description

Fig. 29. — Machine dyanamo-électrique de Gramme, type d'atelier.

ne pouvait pas être donnée avant celle de l'anneau de Gramme sans redites inutiles. Pour comprendre le fonctionnment de cet

Digitized by Google

appareil, on n'a qu'à considérer chaque bobine comme une des bobines partielles de l'anneau Gramme, car les bobines de Clarke sont toutes rattachées les unes aux autres ; le bout entrant de chacune étant lié au bout sortant de la bobine suivante. Les courants sont recueillis à l'aide de frotteurs qui touchent les points de liaison des différentes bobines entre elles.

La continuité du courant résulte de ce que les ressorts collecteurs, avant de quitter une des pièces radiales, commencent déjà à toucher la pièce radiale voisine.

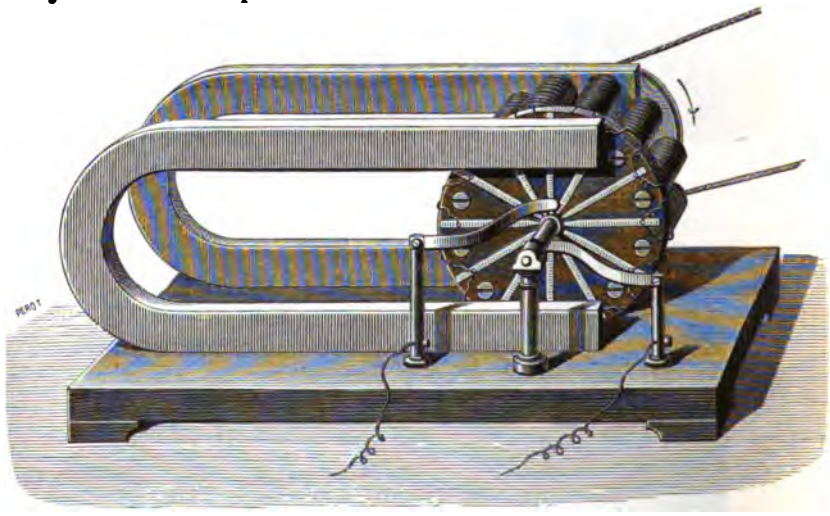


Fig. 30. — Machine à courants continus de M. Niaudet.

Les machines Gramme fournissent, à égalité de magnétisme et de fil employé, un courant électrique plus puissant tout en dépensant moins de force motrice, ce qui établit en leur faveur une supériorité que, d'ailleurs, M. Niaudet ne leur conteste pas.

Il estime cependant que, quand on voudra faire de la télégraphie sans piles, avec des machines à courant continu, la facilité extrême que l'on trouvera à faire des bobines cylindriques à fil fin, dans le but de fournir des courants de grande tension et de peu de quantité, justifiera l'emploi de cet appareil dont la simplicité de construction rachètera le rendement inférieur, ren-

Digitized by Google

dement dont l'importance est tout à fait secondaire pour cette application spéciale.

Machine Lontin. — La machine de M. Lontin, brevetée en 1874, est une machine dynamo-électrique à courant continu dont les inducteurs sont dans le même circuit que l'induit et le circuit extérieur.

Elle se distingue de la machine de Gramme par la forme de

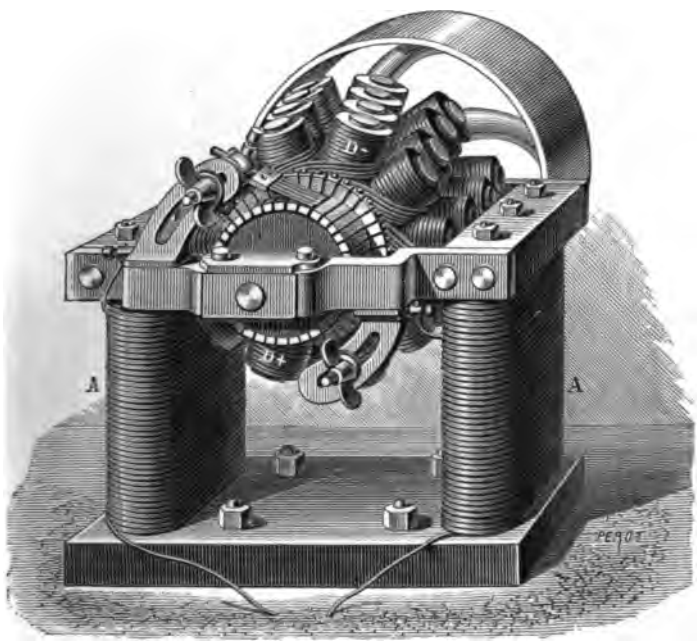


Fig. 31. — Machine Lontin à courants continus.

l'induit composé de quarante petites bobines D,D (fig. 31) dont les axes sont dirigés dans le sens du rayon à la façon des dents d'un engrenage, ce qui a fait donner à cette forme d'induit le nom de *pignon magnétique*.

Les quarante bobines, divisées en dix rangées de quatre bobines chacune, sont disposées en hélice sur chacune de ces rangées et munies d'un noyau de fer à leur intérieur. Elles constituent ainsi une série d'électro-aimants qui, en tournant entre les pôles

Digitized by Google

de l'inducteur A, prennent des polarités dont le sens change à chaque demi-révolution.

Les courants ainsi engendrés sont recueillis sur un collecteur de Gramme, par des balais formés de feuilles de cuivre minces comme du clinquant.

Le principe et la théorie de cette machine sont identiques à ceux de la machine de Gramme dont elle ne diffère que par la forme spéciale de l'induit.

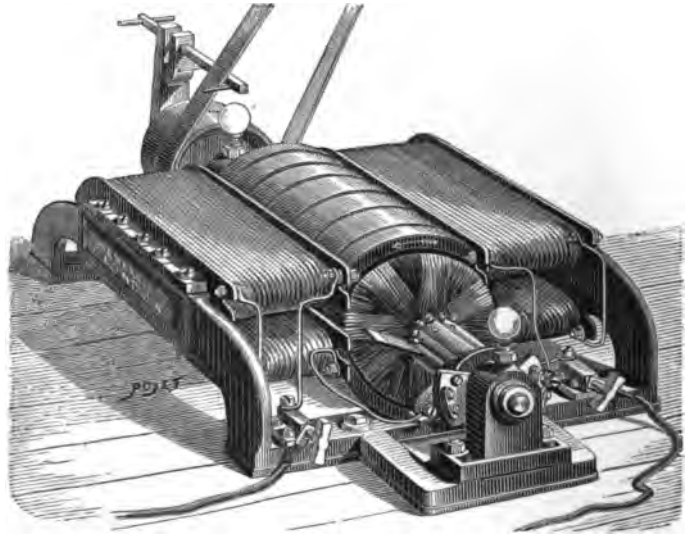


Fig. 32. — Machine à courant continu de Siemens, moyen modèle.

M. Lontin emploie plus spécialement cette machine à l'excitation des inducteurs de sa machine à courants alternatifs que nous décrirons page 81.

Machine Siemens. — On désigne généralement sous ce nom les machines imaginées par M. Hefner-Alteneck, ingénieur de la maison Siemens de Berlin. La machine de Siemens (fig. 32) est une machine Gramme à armature cylindrique qui se distingue cependant du type qui lui a servi de modèle par plusieurs détails caractéristiques assez importants.

Digitized by Google

La bobine induite, formée de sections réunies entre elles et à un collecteur Gramme, est d'une assez grande longueur et roulée d'une façon spéciale ; le fil ne recouvre que la partie *extérieure* de la carcasse en fer qui le supporte. L'induction ne se produit ainsi que par la face extérieure qui se présente aux inducteurs, et le rôle de la carcasse en fer très légère qui remplace l'anneau en fer recuit de Gramme se trouve ici très effacé.

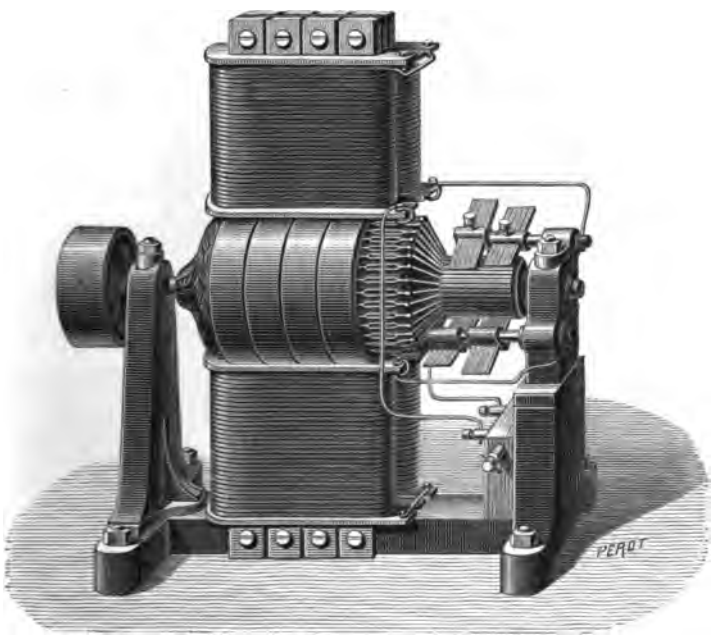


Fig. 33. — Machine à courant continu de Siemens, petit modèle.

L'enroulement du fil est ainsi rendu plus facile, et la bobine peut être plus simplement fixée et centrée sur son axe de rotation.

Les inducteurs, formés d'une série de lames de fer, sont légèrement arqués à l'endroit de la bobine, ce qui a pour effet de bien répartir le champ magnétique en lui donnant son intensité maximum au point même où il doit agir avec le plus de puissance. La forme générale de la machine est aussi très favorable

Digitized by Google

à sa stabilité. Le collecteur et les balais sont absolument identiques à ceux de la machine Gramme.

Sous cette forme, et en variant seulement les dimensions relatives des organes et des fils inducteurs et induits, la machine peut s'appliquer à la galvanoplastie, à l'éclairage électrique par les régulateurs ou par l'incandescence, aux transmisions de force motrice, etc., comme la machine Gramme.

La machine du plus petit modèle (fig. 33), employée plus spécialement pour exciter les inducteurs des machines à courants alternatifs dont nous parlerons plus loin, se distingue par la dis-

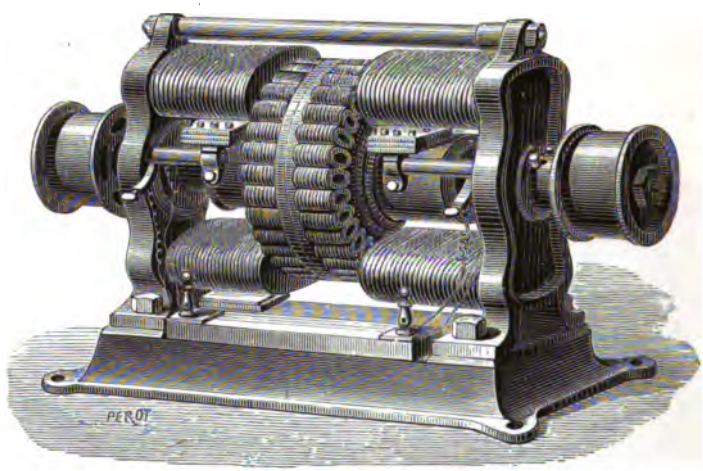


Fig. 34. — Machine Wallace Farmer.

position de ses inducteurs disposés verticalement pour ne pas placer la bobine induite trop près du sol. Les balais qui recueillent le courant sont doubles pour chaque pôle. Cette disposition a pour effet d'avoir toujours une partie métallique du collecteur en contact avec un des balais lorsque l'autre balai rencontre une partie isolée, ce qui donne un courant plus régulier.

Machine Wallace-Farmer. — La machine qui porte ce nom, et dont la réputation a été faite par Edison, avant qu'il n'inventât sa propre machine dont nous dirons quelques mots,

Digitized by Google

n'est qu'une disposition plus ou moins heureuse du principe de l'anneau et du collecteur de Gramme. Elle a été d'abord imaginée par Moses Farmer, de Boston, en 1875, puis construite et perfectionnée par William Wallace, d'Ansonia (Connecticut).

Cette machine (fig. 34) se compose d'un disque portant deux séries de bobines méplates, pour mieux utiliser la surface des disques; chacune de ces bobines est reliée à la suivante et à un collecteur Gramme comme dans la machine de Niaudet (p. 66). Les inducteurs sont, comme dans les machines plus anciennes de Gramme, Siemens et Lontin, disposés en tension dans le circuit extérieur. La machine est double et chacune de ses moitiés peut agir indépendamment, ou bien on peut réunir ces deux moitiés, soit en quantité, soit en tension.

Si l'on en croit MM. Wallace et Farmer, cette machine aurait l'avantage de ne pas trop s'échauffer, en présentant à l'air une grande surface de refroidissement, avantage compensé par l'inconvénient d'offrir une résistance assez grande due au frottement de l'air. Malgré ces affirmations, il résulte d'expériences faites par MM. Houston et Thomson en Amérique que la machine chauffait assez pour faire fondre de la cire à cacheter placée préalablement sur ses bobines.

Machine Brush. — La machine de M. Brush, de Philadelphie, combinée vers la fin de 1876, présente certaines dispositions spéciales qui la différencient de celles que nous venons d'examiner jusqu'ici. L'induit se compose d'un anneau en fer doux creusé de huit gorges dans lesquelles s'enroule le fil des bobines, comme dans l'anneau de Pacinotti. Cette disposition présente l'avantage de rapprocher davantage les masses de l'anneau de l'inducteur, et, d'autre part, de faciliter le refroidissement de l'anneau de fer doux que les changements d'aimantation rapides échauffent beaucoup.

Le courant n'est pas recueilli par un collecteur de Gramme, mais redressé à l'aide de quatre frotteurs que l'on voit sur la gauche de la figure 35. Les bobines diamétralement opposées sont reliées en tension deux par deux, mais les commutateurs auxquels sont

Digitized by Google

reliées les extrémités libres du fil sont disposées de telle sorte que, au moment où le courant change de sens dans les bobines, par suite de leur passage dans le diamètre correspondant à la ligne neutre, ces bobines sont retirées du circuit, car elles ne feraient que lui ajouter une résistance inutile, puisqu'à cet instant elles ne sont le siège d'aucun courant.

Les inducteurs sont alimentés par le courant de la machine qui les traverse en tension ; ils sont de grande surface et au nombre de quatre disposés deux par deux, de chaque côté de l'anneau.

Cette machine, qui vient d'être introduite en Angleterre il y a quelques mois, fournit des courants d'une intensité et d'une tension très grandes ; nous en dirons quelques mots à propos de la division de la lumière électrique.

Machine Bürgin. — En 1877, M. Bürgin, de Bâle, voulant aussi rapprocher la masse de l'anneau des inducteurs, a imaginé une machine dynamo-électrique dans laquelle l'induction se fait sur six anneaux distincts montés les uns à côté des autres sur le même arbre. Le noyau magnétique de chaque anneau est un cadre carré en fils de fer sur le côté duquel on enroule les hélices induites, en forme de fuseau, plus épais au milieu, de sorte que les angles du cadre carré se trouvent à peu près sur la même circonférence que les spires extérieures des hélices roulées en fuseau, et passent ainsi très près des pôles inducteurs. Les six anneaux sont montés un peu *en retrait* l'un par rapport à l'autre pour que les bobines se présentent successivement devant les inducteurs, comme dans le pignon magnétique de M. Lontin. Les 24 bobines sont reliées entre elles et à un collecteur comme les bobines de la machine de Gramme, et le fonctionnement en est identique.

Les inducteurs sont en fonte et montés en tension sur le circuit général. Cette machine présente l'avantage d'être assez rustique, facile à construire, et permet de fixer avec précision les anneaux sur l'axe de rotation, condition difficile à réaliser avec l'anneau de Gramme.

Machine Edison. — Pour terminer notre revue des machines dynamo-électriques, nous devons dire quelques mots

Digitized by Google

de la machine d'Edison qui a fait quelque bruit en octobre 1879.

La bobine de la machine Edison est exactement la bobine de

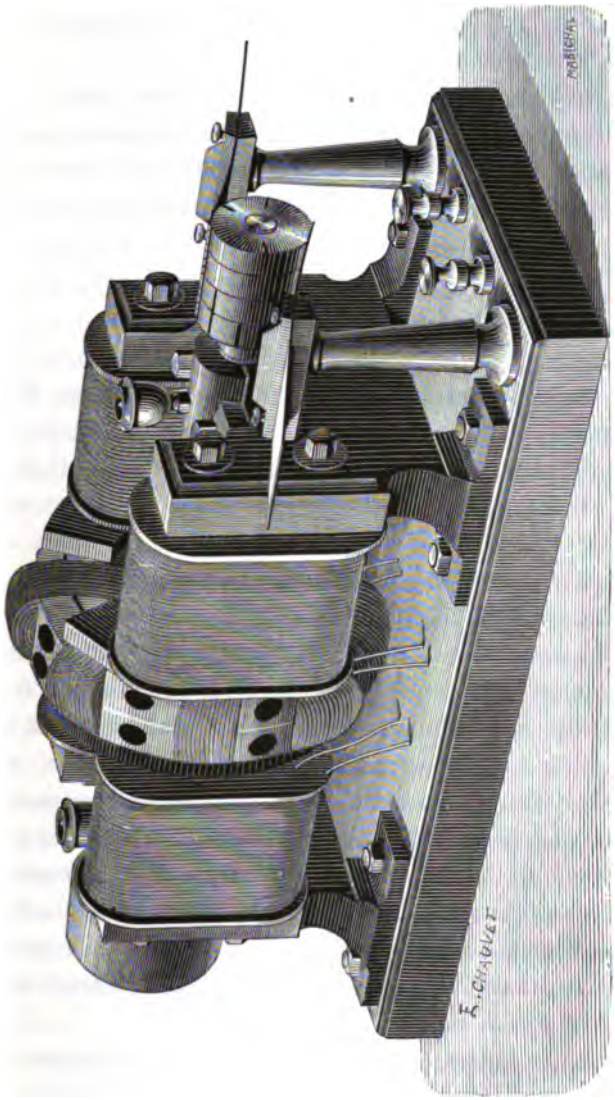


Fig. 35. — Machine Brush.

Gramme, munie de l'enroulement de Siemens, et du collecteur de Gramme.

Digitized by Google

Les inducteurs ne sont pas dans le circuit général, comme dans toutes les autres; le champ magnétique est produit par d'immenses électro-aimants en fer à cheval qui reçoivent le courant d'une machine spéciale, comme dans les machines de Wilde, disposition imaginée dès 1867.

Avec la meilleure volonté du monde, il serait impossible de trouver la moindre originalité à la machine d'Edison qui reproduit la plupart des dispositions imaginées par ses devanciers, sans aucune disposition nouvelle pouvant être considérée comme un progrès.

B. — Machines a courants alternatifs.

Si nous considérons une spire d'une bobine induite pendant une révolution entière accomplie par l'ensemble mobile, — inducteur ou induit, — autour de son axe de révolution, nous avons vu, dans toutes les machines que nous avons examinées jusqu'ici, que chaque spire était traversée par deux ou un nombre pair de courants alternativement de sens contraire ; c'est par un artifice plus ou moins heureux, plus ou moins habile, que l'on recueille ces courants dans le circuit extérieur de façon à les obtenir toujours dans le même sens et à produire un courant continu. Dans certaines applications, il est absolument inutile de redresser ces courants ; pour certaines machines même, comme celles de *l'Alliance* par exemple, ce redressement des courants ne s'effectuait pas sans de grandes pertes, faciles à éviter en se contentant de recueillir les courants, sans redressement.

Les machines qui réalisent ces conditions sont des machines à *courants alternatifs*, et se divisent en deux classes, comme les machines à courant continu, suivant que les inducteurs sont des aimants permanents ou des électro-aimants.

Nous allons examiner rapidement les types principaux de ces machines, en nous étendant surtout sur les machines récentes de Lontin, Gramme et Siemens qui, dans ces dernières années, ont permis, dans une certaine mesure, la division de la lumière électri-

Digitized by Google

que par les bougies électriques, et les lampes différentielles dont nous parlerons dans un chapitre spécial.

a. — Machines magnéto-électriques à courants alternatifs.

Il suffit de supprimer le commutateur redresseur des machines magnéto-électriques de *Pixii, Clarke, Page, Siemens* et de le remplacer par un simple *collecteur* de courants pour obtenir des appareils à courants alternatifs dont la puissance dépendra, comme dans les machines à courant continu, de l'intensité du champ magnétique, de la vitesse de rotation des bobines, de leurs dimensions, de leur nombre, etc.

Machines de *l'Alliance.* — C'est en 1849 que Nollet, professeur de physique à l'école militaire de Bruxelles, proposa de construire une machine de Clarke sur une grande échelle et créa la machine connue aujourd'hui sous le nom de *Machine de l'Alliance.*

Après des déboires sans fin, dont on trouvera les détails dans l'*Exposé des applications de l'électricité*, de M. le comte du Moncel, les machines de *l'Alliance*, étudiées pour fournir des courants *continus* furent, sur les conseils de Masson, professeur de physique à l'École centrale, transformées en machines à courants *alternatifs*. Elles donnèrent, par cette simple transformation, des résultats incomparablement meilleurs et furent adoptées, dès 1863, pour l'éclairage électrique des phares de la Hève.

La machine de *l'Alliance* est aujourd'hui bien connue, nous nous contenterons d'en signaler le principe : c'est une machine de Clarke de grandes dimensions dont la disposition mécanique est combinée pour permettre de multiplier les bobines d'induction et les aimants inducteurs aussi commodément et aussi simplement que possible.

Pour cela les bobines sont disposées sur des disques et tournent entre les pôles d'aimants en fer à cheval disposés tout autour de la circonférence ; chaque disque porte de 8 à 16 bobines. La machine du plus grand modèle construit jusqu'ici porte 6 disques de

Digitized by Google

16 bobines chacun et 56 aimants inducteurs. Pour chaque tour de la machine, les fils des bobines sont traversés par des courants qui changent de sens chaque fois qu'une bobine passe devant les pôles des inducteurs.

Pour une vitesse de 400 tours par minute, on obtient plus de 100 changements de sens du courant par seconde. Suivant que ces machines doivent fournir de la quantité ou de la tension, — on sait ce qu'il faut entendre par là, — les bobines sont reliées aux collecteurs soit en dérivation, soit en tension.

Les machines de *l'Alliance* à courants alternatifs sont de bonnes machines, fonctionnant très régulièrement et d'un rendement assez élevé ; elles ne se vulgarisent pas parce qu'elles exigent un emplacement assez grand relativement à leur puissance, qu'elles sont trop lourdes et que leur prix est trop élevé eu égard au travail qu'elles transforment en électricité. A ce point de vue, on peut les comparer aux machines à vapeur à basse pression, à condenseur et à faible vitesse, d'un bon rendement, mais auxquelles on préfère les machines à grande vitesse, à haute pression et sans condenseur qui, à puissance égale, sont moins lourdes, moins chères et moins encombrantes.

Machine de M. de Méritens. — La machine imaginée en 1878 par M. de Méritens est aussi magnéto-électrique, mais elle se distingue des machines de *l'Alliance* par la forme des bobines et par la manière dont on développe les courants d'induction dans les fils qui entourent l'anneau induit.

Nous empruntons la théorie de cette machine à l'ouvrage de M. du Moncel sur l'*Éclairage électrique :*

« Pour comprendre le fonctionnement de la machine de M. de Méritens, imaginons un anneau Gramme (fig. 36) divisé, par exemple, en quatre sections isolées magnétiquement l'une de l'autre et constituant par conséquent quatre électro-aimants arqués, placés bout à bout. Imaginons que le noyau de fer de chacune de ces sections soit terminé à ses deux extrémités par une pièce de fer AB, formant comme un épanouissement de ses pôles, et supposons que toutes ces pièces, réunies par l'intermé-

Digitized by Google

médiaire d'une pièce de cuivre CD, constituent un anneau solide autour duquel sont disposés des aimants permanents NS, NS, avec leurs pôles alternés de l'un à l'autre. Examinons ce qui se passera quand cet anneau accomplira un mouvement de rotation sur lui-même, et voyons d'abord les effets qui résulteront, par exemple, du rapprochement du pôle épanoui B, quand, marchant de gauche à droite, il s'approchera de N. A ce moment, il se

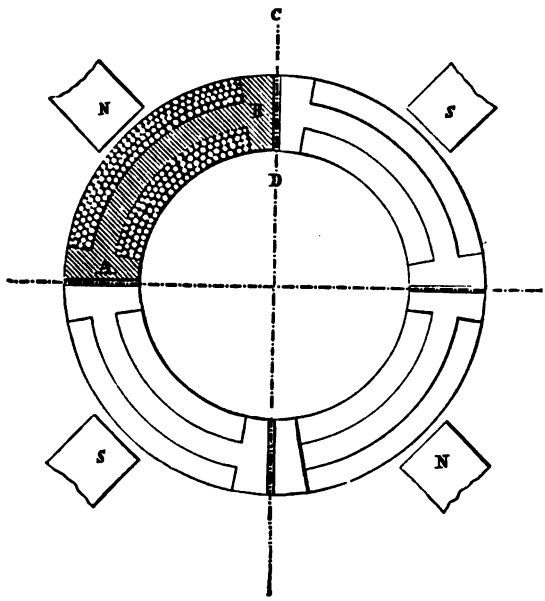


Fig. 36. — Diagramme théorique de la machine de Méritens.

développera dans l'hélice électro-magnétique de AB un courant induit d'aimantation, comme dans une machine de Clarke : ce courant sera instantané et de sens inverse aux courants particulaires d'Ampère de l'aimant inducteur, il sera très énergique en raison de la proximité de B du pôle N ; et dans le noyau AB une série de déplacements magnétiques, qui donneront naissance à une série de courants d'inversion polaire, qui se manifesteront de B en A ; ces courants seront directs par rapport aux courants particulaires de N, mais ils ne sont pas instantanés et vont en croissant

Digitized by Google

d'énergie de B en A. A ces courants se joindront simultanément les courants d'induction dynamique résultant du passage des spires de l'hélice devant le pôle N. Quand A abandonnera N, un courant de désaimantation se produira, égal en énergie et de même sens que le courant d'aimantation résultant du rapprochement de l'épanouissement B du pôle N. L'effet est en effet alors produit à une extrémité différente du noyau magnétique, et l'hélice se présente à l'action d'induction d'une manière inverse. Donc courants induits inverses de l'inducteur par le fait du rapprochement et de l'éloignement des appendices A et B, courants

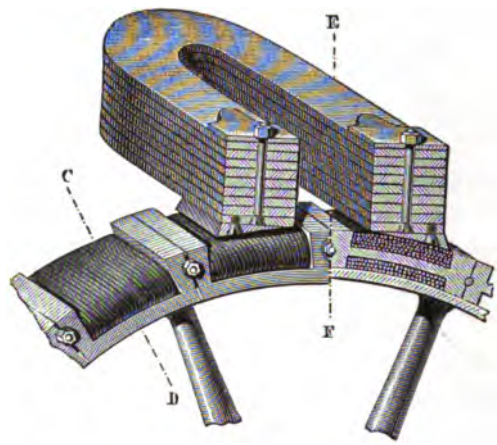


Fig. 37. — Détails de la machine Méritens.

induits directs pendant le passage de la longueur du noyau ABS devant l'inducteur, courants induits directs résultant du passage de spires devant N. Toutes les causes d'induction se trouvent donc ainsi réunies dans cette combinaison.

« On remarquera que l'action que nous venons d'étudier pour une seule section de l'anneau peut s'effectuer en même temps pour toutes les autres et qu'il s'y ajoute encore les courants résultant de la réaction latérale des pôles A et B sur les pôles voisins.

« Afin d'augmenter encore les effets d'induction, M. de Méritens compose le noyau AB et les appendices A et B avec les lames

Digitized by Google

minces de fer découpées à l'emporte-pièce, comme on le voit sur la figure 37, et juxtaposées en faisceaux au nombre de cinquante ayant 1 millimètre d'épaisseur chacun. Les fils des hélices sont d'ailleurs reliés de manière que les courants indirects puissent être associés en tension, en quantité ou en séries, suivant les

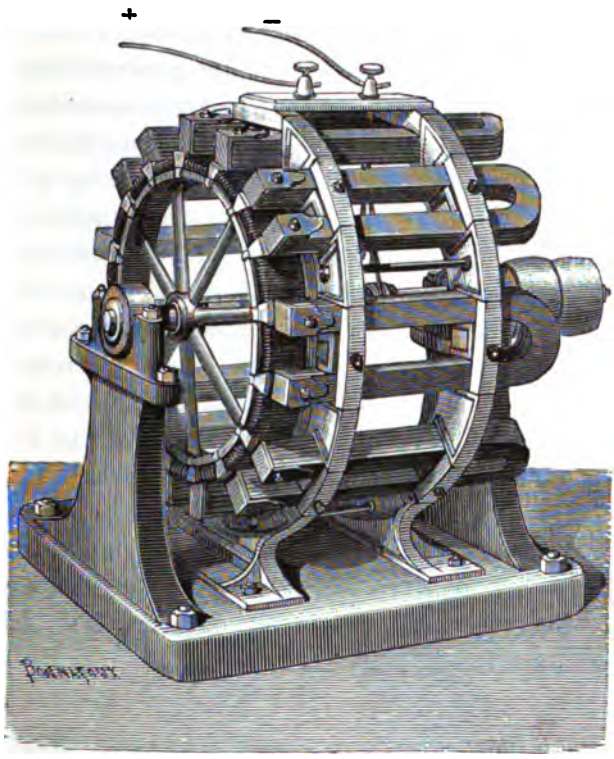


Fig. 38. — Machine Méritens.

conditions de l'application. Nous n'avons considéré, dans la figure théorique que nous avons donnée, que quatre sections. Mais, par le fait, il y en a un plus grand nombre, et, dans le modèle dont nous avons parlé, il y en a seize que l'on distingue aisément (fig. 38). Elles sont montées sur une roue en bronze adaptée à l'arbre du moteur. C'est au-dessus de cette roue que se trouvent encastrés les aimants inducteurs qui sont fortement fixés sur deux carcasses

Digitized by Google

en bronze, où ils sont disposés horizontalement. On distingue, figure 38, la manière dont ces différents organes sont montés.

« Pour peu que l'on considère le mode de disposition de l'anneau induit, on reconnaît aisément qu'il se trouve dans les meilleures conditions possibles de construction. En effet, comme chaque section est séparée, elle peut être démontée isolément et l'on peut par conséquent l'enrouler de fils sans aucun embarras. Ceux qui connaissent les difficultés que présente l'enroulement de l'anneau Gramme pourront apprécier facilement cet avantage. D'un autre côté, la composition du noyau avec des lames juxtaposées qui peuvent être découpées d'un seul coup à l'emporte-pièce, est un énorme avantage, car ce système dispense de la précision nécessaire dans la construction de ces anneaux, toujours difficiles à maintenir parfaitement ronds. Enfin il n'y a ni commutateur ni collecteur dans les machines, et par conséquent aucune perte de courant. Les courants fournis par cette machine peuvent allumer de trois à quatre bougies Jablochkoff, mais on a pu également allumer des régulateurs, et, dans ce dernier cas, on a pu écarter les charbons jusqu'à 5 centimètres sans éteindre la lumière. »

M. de Méritens a, tout dernièrement, transformé sa machine en la rendant dynamo-électrique, dans le but d'augmenter la puissance des inducteurs, et par suite celle de la machine. Nous signalons cette modification page 87.

b. — Machines dynamo-électriques à courants alternatifs.

Nous savons que les machines dynamo-électriques se distinguent des machines magnéto-électriques par la nature des inducteurs qui sont des *électro-aimants* pour les premières, tandis que les secondes emploient des aimants en acier.

Dans les machines à *courants continus*, le courant de la machine elle-même est utilisé pour l'aimantation des inducteurs, condition que ne peuvent réaliser les courants alternatifs (sous réserve de certains artifices dont nous parlerons plus tard).

Digitized by Google

Il en résulte que, pour constituer une machine dynamo-électrique à courants alternatifs, il est nécessaire d'employer deux machines : la première, qu'on appelle *excitatrice*, *induisante* ou *amorçante* (le nom d'excitatrice tend aujourd'hui à prévaloir), d'un volume relativement petit, sert à exciter les électro-aimants de la seconde, qu'on nomme *distributrice*, *machine à division* ou *machine à lumière*, et qui fournit des courants alternatifs dans un ou plusieurs circuits.

Les systèmes que nous allons examiner maintenant, Lontin, Gramme et Siemens, emploient tous deux machines, une excitatrice à courant continu et une machine à division. Chacun des systèmes présente cependant certaines particularités qui le distinguent des autres et en fait un type spécial.

Machine à courants alternatifs de M. Lontin. — C'est M. Lontin qui a construit la première machine dynamo-élec-

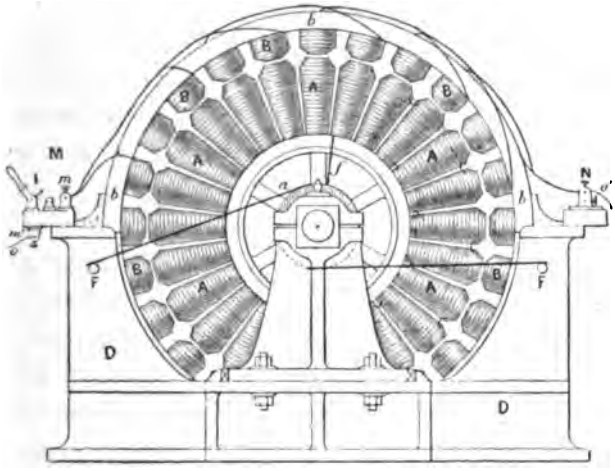


Fig. 39. — Machine à division de M. Lontin.

trique à courants alternatifs avec machine excitatrice spéciale. L'*excitatrice* de M. Lontin est la machine à courants continus que nous avons décrite page 67.

Le courant qu'elle produit est envoyé dans les inducteurs de la *machine à division*, que nous allons maintenant examiner.

Digitized by Google

Le courant de l'excitatrice arrive dans le pignon de la machine à division (fig. 39) par deux frotteurs fixés aux bornes F, F. Ce pignon tournant autour d'un axe horizontal se compose de vingt-quatre dents de fer enveloppées chacune d'une hélice en fil de cuivre traversée par le courant de l'excitatrice qui aimante chacune des dents en alternant les pôles à la circonférence extérieure.

Extérieurement au pignon mobile se trouve une couronne fixe portant aussi vingt-quatre dents fixées à l'intérieur de cette couronne, et formant ainsi une série de bobines dont toutes les extrémités des fils entourant les noyaux aboutissent à un appareil nommé *manipulateur* dont nous examinerons la fonction tout à l'heure.

En imprimant au pignon magnétique un mouvement de rotation rapide, les dents du pignon, en passant devant les bobines B. développent des courants d'induction dont le sens varie vingt-quatre fois par tour. La machine à 24 bobines, tournant en marche normale à la vitesse de 360 tours par minute, il se produit 8,640 changements de polarité dans le noyau des bobines B. c'est-à-dire 8,640 courants alternativement de sens contraire, soit 144 inversions par seconde.

Les extrémités des fils des bobines B arrivent au manipulateur M, et sont fixées à des bornes *m*. Le manipulateur permet de combiner les bobines en les groupant, soit en tension, soit en quantité, et en nombre plus ou moins grand. On peut, à volonté, constituer 24 circuits distincts, ou disposer les 24 bobines, *par séries*, sur un seul circuit, et alimenter un seul foyer puissant.

En décrivant le régulateur Lontin, nous montrerons les avantages de cette disposition permettant de proportionner dans chaque circuit l'intensité de la circulation électrique à l'effet qu'on veut produire, sans rien changer au régime de la machine.

Dans cette machine l'induit est fixe et l'inducteur mobile, comme dans la machine de Pixii multiple, avec cette différence que l'aimant mobile est remplacé par un électro-aimant qui, à

Digitized by Google

poids égal, a vingt fois plus de puissance qu'un aimant permanent.

Machine de Gramme. — Dans cette machine, comme dans celle de M. Lontin qui l'a précédée, l'induit est fixe, et les inducteurs, surexcités par une machine Gramme type d'atelier (p. 64), sont mobiles. L'inducteur (fig. 40) est constitué par un pignon magnétique formé de 8 électro-aimants droits à pôles alternés qui fournissent dans chacune des sections de l'hélice induite des courants alternativement renversés.

L'induit fixe est un cylindre de fer assez long disposé comme l'anneau des machines à courant continu du même inventeur.

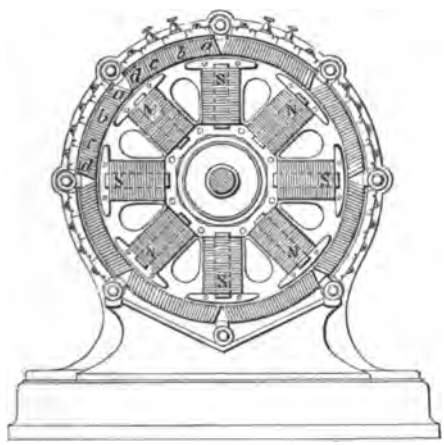


Fig. 40. — Diagramme de la machine Gramme à courants alternatifs.

On voit sur le diagramme (fig. 40) que, les fils de l'induit étant fixes, on peut les associer de différentes façons. Chaque huitième de la circonférence de l'anneau est partagé en quatre sections ; les trente-deux sections ou éléments sont réunies en quatre groupes formés de sections prises quatre à quatre ; toutes les sections *a* sont réunies en un premier groupe, car il suffit d'examiner la figure pour voir que toutes les sections *a* sont placées de la même façon par rapport aux huit pôles de l'inducteur mobile, ce qui commande leur association ; de même les sections *b* sont réunies au deuxième groupe, les sections *c* au troisième et les sections *d* au quatrième. Mais en mettant soixante-quatre sections sur l'an-

Digitized by Google

neau au lieu de trente-deux, bien d'autres combinaisons sont possibles.

Il n'y a, comme dans la machine à division de M. Lontin, aucun commutateur ; deux frotteurs mobiles, en forme de balais ou de brosses, appuient sur deux cercles distincts et amènent le courant de l'excitatrice au pignon mobile.

La machine est enfermée entre deux montants de fonte de fer latéraux et enveloppée par un certain nombre de planches d'a-

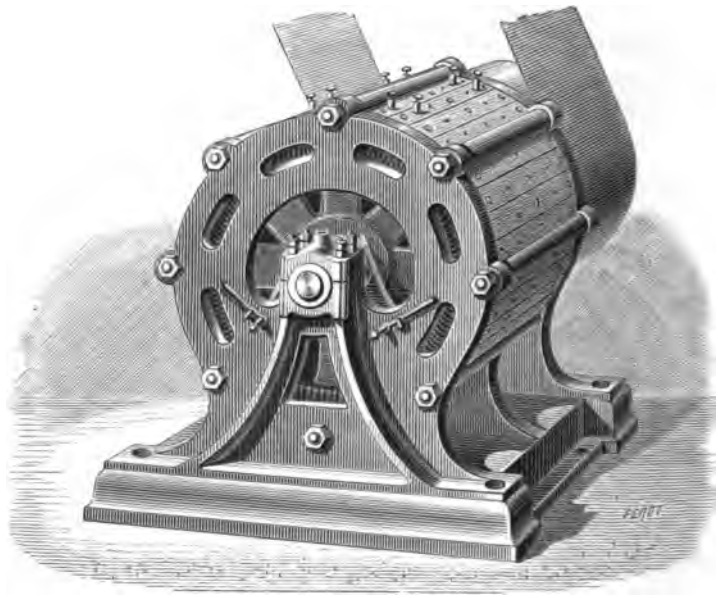


Fig. 41. — Machine Gramme à courants alternatifs.

cajou (fig. 41) qui protègent efficacement l'anneau extérieur contre tous les chocs.

On voit au dernier plan la poulie et la courroie qui servent à mettre la machine en mouvement.

M. Gramme construit des machines de ce type depuis celles qui alimentent 4 bougies Jablochkoff en un seul circuit jusqu'aux machines employées à l'Hippodrome qui fournissent le courant électrique à 60 bougies disposées en douze circuits de 5 bougies chacun.

Digitized by Google

Machine de Siemens. — La machine de H. Hefner von Altenek, construite par la maison Siemens, ce qui lui fait donner ce nom, se distingue par ce fait qu'à l'inverse des machines Lontin et Gramme, les inducteurs sont fixes et les induits mobiles.

La machine excitatrice est la machine Siemens petit modèle, représentée figure 33, page 69. Le courant de cette excitatrice est envoyé dans un inducteur formé de 32 électro-aimants fixes

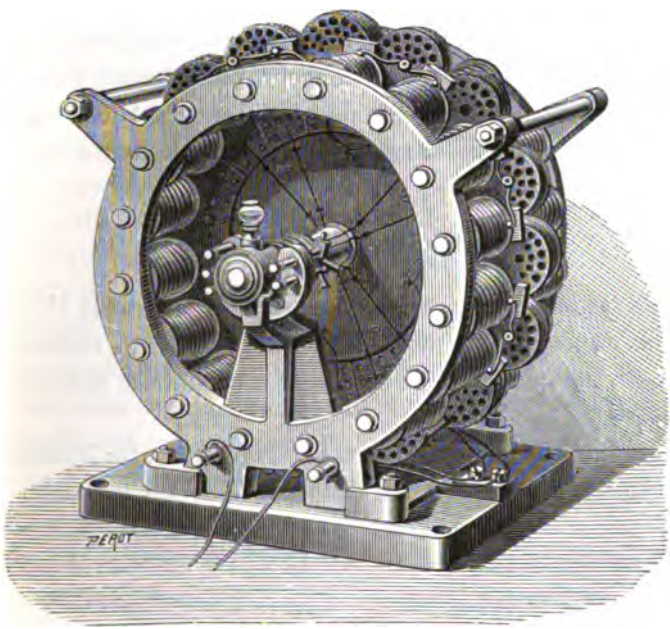


Fig. 42. — Machine à division de Siemens.

disposés sur deux couronnes en fonte, 16 de chaque côté de l'induit mobile.

L'extrémité du noyau de chacun de ces électro-aimants porte une petite plaque de fer destinée à former un épanouissement du pôle et à faciliter ainsi l'induction ; ces pôles sont alternativement de sens contraire. Les induits se composent de 16 bobines plates fixées sur un plateau et tournant très rapidement dans l'espace annulaire entre les deux séries d'inducteurs. Ces bobines induites ne renferment pas de noyau de fer, comme les

Digitized by Google

autres systèmes ; le courant ne s'y développe donc que par le passage des spires des hélices dans le champ magnétique des inducteurs, et non pas par des surexcitations magnétiques et des interversions de polarité de leurs noyaux.

Les bobines sont préalablement groupées de la façon qui convient le mieux aux effets qu'on a en vue, et les courants sont recueillis à l'aide de balais qui viennent frotter sur des collecteurs reliés aux extrémités des fils des bobines induites. La machine à 16 bobines du type que nous venons de décrire est divisée en deux circuits pouvant alimenter chacun 10 lampes différentielles de Siemens. Il suffit pour cela de trois fils partant de la machine, car l'un d'eux, le *fil de retour*, peut être commun aux deux circuits.

C. — Machines auto-excitatrices.

Toutes les machines dynamo-électriques à courants alternatifs que nous venons d'examiner jusqu'ici, nécessitent, comme nous l'avons vu, l'emploi de deux machines, l'excitatrice et la machine proprement dite.

On désigne sous le nom d'*auto-excitatrices*, toutes les machines dans lesquelles on supprime l'excitatrice, sinon totalement, du moins comme machine distincte et séparée. L'avantage de cette disposition réside dans une simplicité plus grande de la transmission, une certaine simplification dans le mécanisme et une économie de prix d'achat.

Machine de Wilde. — La première machine à courants alternatifs de cette nature a été imaginée par Wilde dès 1867 ; délaissée pendant quelques années, elle est employée aujourd'hui pour les bougies électriques du même inventeur.

La machine de Wilde auto-excitatrice a l'aspect extérieur de la machine Siemens à courants alternatifs, moins l'épanouissement des extrémités polaires des inducteurs, et les noyaux de fer qui garnissent les bobines induites dans le système de Wilde. Pour exciter les inducteurs, M. Wilde emploie le courant fourni par *une partie des bobines induites*, après l'avoir fait passer

Digitized by Google

dans un commutateur redresseur convenablement approprié.

Les autres bobines sont reliées à un collecteur analogue à celui de la machine Siemens. La machine Wilde est donc auto-excitatrice, en ce sens que les inducteurs sont alimentés sans l'emploi d'une machine séparée.

On a donc à la fois une machine dynamo-électrique à courant direct et une machine dynamo-électrique à courants alternatifs sur le même axe.

Machine de M. Gramme. — En 1879, M. Gramme a construit une machine auto-excitatrice un peu différente. Elle se compose en réalité de deux machines distinctes, mais montées sur le même bâti et mises en mouvement par le même axe, et par suite rigoureusement à la même vitesse; l'une d'elles est une machine Gramme dynamo-électrique à courants directs, servant d'excitatrice, l'autre une machine à courants alternatifs analogue à celle que nous avons décrite page 83.

A puissance égale, ces machines coûtent 50 p. 100 moins cher que les types anciens à excitatrice séparée, elles sont aussi moins lourdes, moins encombrantes, et plus faciles à installer ; si elles ne constituent pas une invention de grande valeur scientifique, elles ne représentent pas moins un progrès d'une certaine importance au point de vue pratique.

Machine Schuckert. — M. Schuckert, de Nuremberg, dont nous avons déjà examiné l'imitation de la machine Gramme à courants continus, a aussi inventé une machine Gramme à courants alternatifs dans laquelle la machine excitatrice est *complètement supprimée*. A cet effet, il redresse le courant alternatif, sur une certaine partie du circuit, partie dans laquelle il place les inducteurs qui s'aimantent alors à l'ordinaire par le courant devenu direct.

A défaut d'expériences précises, il est impossible de se prononcer sur la valeur de la machine de M. Schuckert qui n'est encore connue que par un brevet allemand très récent. (Voir pour plus de détails *la Lumière électrique* du 15 mars 1880.)

Machine de Méritens. — M. de Méritens a modifié la ma-

Digitized by Google

chine magnéto-électrique que nous avons décrite page 76 et l'a transformée en machine dynamo-électrique. Pour cela il entoure les aimants de bobines de fil et les transforme en électro-aimants, mais, pour ne pas employer une excitatrice séparée, M. de Méritens excite ses électro-aimants *par les courants alternatifs, sans redressement de ces courants.*

A cet effet, M. de Méritens entoure chaque aimant de deux bobines, et par une distribution convenable des courants alternatifs, il transforme chaque aimant en électro-aimant boiteux.

A l'aide de deux distributeurs portant autant de dents qu'il y a de pôles sur la circonférence des inducteurs, il fait passer les courants successivement dans chacune des bobines, mais de telle façon qu'il ne passe à chaque instant, dans une bobine donnée, qu'un courant dont le sens est favorable à la surexcitation magnétique.

L'idée de M. de Méritens est ingénieuse, mais il est douteux qu'on puisse obtenir une grande augmentation du champ magnétique dans ces conditions, car le point de saturation magnétique de l'acier est inférieur à celui du fer doux. D'autre part, l'introduction des bobines des aimants dans le circuit produit une augmentation de résistance qui affaiblit l'intensité du courant et compense l'augmentation de puissance résultant de la surexcitation magnétique des inducteurs.

Des expériences précises et comparatives pourront seules nous fixer sur les avantages très douteux de cette disposition.

Machine Bürgin. — M. Bürgin, de Bâle, a imaginé aussi une machine à courants alternatifs composée de quatre anneaux tournant dans le champ magnétique formé par les électro-aimants inducteurs. Dans la machine de M. Bürgin, chacun des anneaux alimente les inducteurs pendant un quart de tour, au moment même où le sens du courant qui le traverse est favorable à l'aimantation, tandis que les trois autres anneaux alimentent le circuit extérieur. Dans ces conditions, la machine auto-excitatrice de M. Bürgin fonctionne, à chaque instant, comme si l'on

Digitized by Google

disposait de deux machines séparées, une pour les inducteurs, l'autre pour le circuit extérieur.

Exploseur magnétique ou coup de poing de Bréguet. — Cet appareil n'est autre chose qu'une machine magnéto-électrique du modèle le plus simple, et repose directement sur l'expérience fondamentale de Faraday. Pour obtenir un courant au moyen de cet appareil, il suffit de donner un coup de poing sur le manche, d'où résulte le brusque arrachement de l'armature. La simplicité de cette manœuvre fait souvent donner à cette machine le nom de *coup de poing*.

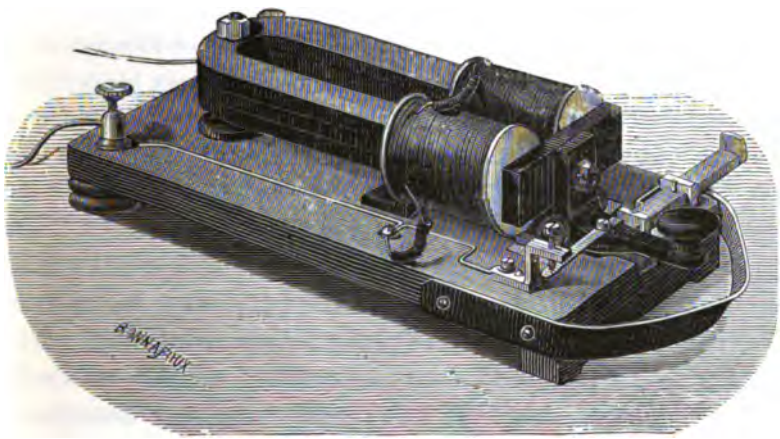


Fig. 43. — Exploseur magnéto-électrique ou *coup de poing* de Bréguet.

Quand on ramène l'armature au contact, on obtient un second courant de sens contraire.

Pour la principale des applications de cet instrument, l'inflammation de la poudre, il y a intérêt à avoir un courant de grande tension ; aussi convient-il d'employer le premier courant. celui d'arrachement, par cette seule raison que le mouvement peut être accompli plus rapidement que le mouvement contraire. Pour augmenter encore la tension du courant, on a recours à un artifice singulier qui mérite de nous arrêter un instant.

Le levier de l'armature porte un petit ressort que la figure montre en avant et à gauche, et qui touche par son extrémité à

Digitized by Google

une vis. Quand on écarte l'armature et l'aimant, le ressort cesse de toucher la vis. Mais, comme au point de départ, il est bandé, le contact entre la vis et le ressort ne cesse qu'après que l'armature a fait environ les deux tiers de son mouvement. L'un des bouts du fil conducteur enroulé sur les branches de l'aimant est mis en communication avec le levier de l'armature, l'autre bout communique avec la vis; par conséquent, le courant produit par le coup de poing est enfermé dans l'appareil, du moins pendant les deux tiers du temps de sa production. Cette disposition qui, à première vue, paraît destinée à faire perdre la plus grande partie du courant, a, au contraire, pour effet d'augmenter la tension, parce que le courant qui est fourni par l'appareil est, non plus le courant d'induction magnéto-électrique, mais l'extra-courant de ce courant d'induction, c'est-à-dire le courant d'induction qui se produit au moment de la rupture du circuit local du courant magnéto-électrique.

En fait, la simple addition du ressort et de la vis dont nous venons de parler augmente dans le rapport de 1 à 5 la tension du courant. On l'apprécie d'une manière grossière en comparant les chocs que l'appareil donne quand on met deux doigts sur les bornes terminales, et on le constate d'une manière plus nette par le nombre des amorces qu'on peut enflammer dans l'un et l'autre cas.

Grâce à ce perfectionnement et à une heureuse proportion entre les parties de la machine, on peut arriver à enflammer de la poudre de chasse extra-fine placée entre deux pointes de métal très voisines.

On a construit des exploseurs qui, d'un seul coup de poing, peuvent enflammer vingt amorces d'Abel; mais cette grande puissance n'est obtenue qu'en sacrifiant la légèreté de l'appareil (ces instruments puissants pèsent 12 à 15 kilogrammes). Dans la plupart des cas, on se contente d'appareils plus petits qui pèsent 8 kilogrammes et qui sont capables d'enflammer dix à douze amorces dans le laboratoire, et d'en faire partir six à huit sur le terrain.

Digitized by Google

Enfin le génie fait étudier des appareils de très petite dimension et d'un poids très réduit, desquels on n'attend que trois ou quatre explosions simultanées, c'est-à-dire une force suffisante pour être absolument sûr d'*une* explosion sur le champ de bataille.

L'exploseur est l'appareil magnéto-électrique le plus simple qui ait jamais été réalisé, et on peut ajouter qu'il n'est pas possible d'en concevoir un plus simple, puisqu'il n'y entre que les trois parties indispensables à répéter l'expérience de Faraday. En effet, on n'y voit qu'un aimant, une armature de fil de fer doux et du fil de cuivre recouvert de soie.

Dans les nouveaux modèles d'exploseurs, l'aimant permanent est formé d'un aimant feuilleté qui, à poids égal, a une puissance beaucoup plus grande que l'aimant primitif à trois lames.

Il faut bien se garder de croire que l'exploseur soit comparable en énergie à la bobine de Ruhmkorff. Le seul avantage qu'il présente sur ce puissant appareil est qu'il se suffit à lui-même et qu'il est toujours prêt à fonctionner, tandis que la bobine d'induction a besoin d'être excitée par une pile.

Le téléphone machine magnéto-électrique. — Pour compléter la liste des appareils qui transforment le travail mécanique en électricité, nous devons signaler le plus sensible et le plus délicat de tous, le téléphone magnétique de Graham Bell et ses nombreux dérivés. Tous les téléphones magnétiques sont de véritables générateurs électriques qui, sous l'influence du travail mécanique résultant des vibrations qui constituent le son, engendrent des courants électriques ondulatoires d'intensité proportionnée à ces vibrations. C'est ainsi que les courants les plus puissants et les plus faibles que nous sachions produire ont tous la même origine : le travail mécanique.

Digitized by Google

CHAPITRE IV

LES TRANSFORMATEURS ÉLECTRIQUES

Tous les appareils que nous avons examiné jusqu'ici sont de véritables *générateurs* d'électricité, car ils engendrent le courant électrique en utilisant l'action chimique comme les piles à liquides, la chaleur comme les piles thermo-électriques ou le travail comme les machines électro-dynamiques.

Nous avons classé sous le nom un peu nouveau, mais parfaitement rationnel, de *transformateurs électriques* des appareils dans lesquels l'électricité n'est plus produite directement, mais se *transforme* et change ses propriétés. Nous ne saurions mieux les comparer qu'aux appareils *cinématiques* en mécanique.

Nous avons vu, en étudiant les qualités du courant, qu'une source donnée fournissait un certain *volume* ou *quantité* d'électricité à unecertaine *pression* ou *tension*. Dans certaines applications, on peut avoir intérêt à augmenter l'une de ces propriétés aux dépens de l'autre, comme en mécanique on peut avoir intérêt à transformer la vitesse en force ou la force en vitesse à l'aide de poulies ou d'engrenages.

Ce sont les appareils qui permettent cette transformation que nous nommons *transformateurs électriques*.

On voit déjà que ces appareils peuvent se diviser en deux grandes classes, suivant qu'ils transforment l'électricité qu'ils

Digitized by Google

reçoivent pour lui donner de la quantité ou, au contraire, pour lui donner de la tension.

Dans la première classe, nous classerons les batteries secondaires de M. *Gaston Planté*, le condensateur voltaïque de M. *d'Arsonval*, les batteries de MM. *Houston* et *Thomson*, *Varley*, etc.

Dans la *seconde classe* figurent tout naturellement les bobines d'induction, la machine rhéostatique de M. Planté et les batteries secondaires qui permettent, sous certaines conditions que nous examinerons plus tard, d'accroître dans de très grandes proportions la tension de la source primitive.

Tous ces appareils ont cependant un caractère commun : ils reçoivent de l'électricité et rendent de l'électricité qu'ils transforment suivant leurs propriétés spéciales.

Avant de les décrire, nous devons signaler encore une propriété spéciale aux appareils de la première classe.

Tous les couples secondaires sont, en même temps que des transformateurs électriques, des *accumulateurs électriques*.

On peut les assimiler aux appareils qui servent, en mécanique, à l'*accumulation du travail* résultant de l'action des forces, tels que les *accumulateurs* hydrauliques, les réservoirs d'air comprimé, les ressorts si justement nommés *moteurs secondaires*, etc.

Les couples secondaires, offrent lorsqu'ils sont chargés, une provision de travail électrique disponible, que l'on peut dépenser à son gré, en un temps plus ou moins long : ils permettent d'obtenir pendant un temps très court des effets de tension et de quantité beaucoup plus grands que ceux de la source électrique primitive, ou, inversement, de produire des effets moins intenses, mais pendant un temps beaucoup plus long. Nous renvoyons, pour plus de détails sur ce sujet, au remarquable ouvrage de M. Gaston Planté, *Recherches sur l'électricité*.

Batteries secondaires de M. Planté. — M. Planté a été conduit à la réalisation de ses batteries par l'étude des courants secondaires développés au sein des piles. Les piles à deux liquides et à courant constant avaient été imaginées par Becquerel pour neutraliser la polarisation.

Digitized by Google

M. Planté, se plaçant à un autre point de vue, chercha à recueillir les courants secondaires et à les mettre à profit pour *accumuler* la force de la pile voltaïque. Voyons, avec lui, comment il fut conduit, par des modifications excessives, à adopter la forme de batterie secondaire qui est employée aujourd'hui :

« Nous avions trouvé que la force électro-motrice secondaire d'un voltamètre à lames de plomb dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique était plus énergique et plus persistante que celle de tous les autres métaux, et qu'elle dépassait même de moitié celle de l'élément voltaïque le plus énergique connu, celui de Grove ou de Bunsen.

« Avec une telle force électro-motrice, il ne s'agissait plus, pour constituer un élément secondaire d'une grande intensité, que de lui donner une très faible résistance, d'accroître le plus possible sa surface. Cela devenait d'autant plus facile que les deux lames nécessaires pour le former devaient être de même nature et d'un métal extrêmement flexible et malléable comme le plomb.

Fig. 44. — Elément Planté (1860).

« C'est ainsi que nous fûmes conduit à construire en 1860, un élément secondaire de grande intensité, en employant une disposition analogue à celle qu'Offershaus et Hare avaient employée pour la pile voltaïque proprement dite, c'est-à-dire en enroulant en spirale deux longues et larges lames de plomb, séparées l'une de l'autre par une toile grossière, et les plongeant ensuite dans un bocal plein d'eau acidulée au $\frac{1}{10}$ par l'acide sulfurique.

« La figure 44 montre la disposition d'un couple secondaire de cette nature. »

La toile était un inconvénient, car elle introduisait une résistance additionnelle et s'altérait à la longue. M. Planté employa alors des batteries à lames plates parallèles, séparées par des baguettes isolantes, placées dans des cuvettes en gutta-percha. Mais les vases en gutta-

Digitized by Google

percha subissaient, avec le temps, un retrait ayant pour effet de rapprocher les lames de plomb en les cintrant et d'occasionner des contacts. L'opacité de cette substance empêchait, en outre, de voir les phénomènes qui se passent à l'intérieur des couples secondaires et qu'il importe de suivre pendant la charge. Ici nous rendons la parole à M. Planté :

« Nous sommes donc revenu à une disposition à peu près semblable à la première que nous avons décrite, mais en modifiant toutefois le mode de séparation des lames en plomb. Nous avons séparé ces lames, non plus par une toile grossière, mais par des bandes étroites de caoutchouc présentant l'avantage de ne point s'altérer dans l'eau acidulée et de ne couvrir qu'une très mince partie de la surface des électrodes.

« Deux paires de bandes de caoutchouc d'un centimètre environ de largeur, sur un demi-centimètre d'épaisseur, sont nécessaires pour empêcher les lames de se toucher réciproquement. Les lamelles qui forment leur prolongement sont taillées aux extrémités opposées des lames, pour mieux éviter les causes de contact et pour égaliser la distribution du courant primaire sur les surfaces des électrodes, en éloignant l'un de l'autre les deux points par lesquels débouchent l'électricité positive de l'électricité négative dans le couple secondaire. Toutefois cette disposition n'est pas indispensable, si les lames de plomb sont enroulées bien uniformément l'une autour de l'autre. L'action chimique du courant primaire se distribue alors également sur toute la surface du couple secondaire, quand même les deux pôles de la pile y déboucheraient très près l'un de l'autre.

« On enroule donc les *lames* de plomb, ainsi séparées par deux ou trois paires de bandes de caoutchouc, autour d'un cylindre en bois ou en métal.

« Il convient de placer deux petites bandes de caoutchouc transversales de la longueur du cylindre, devant les extrémités des bandes longitudinales, lorsqu'on commence à enrouler la première spire, afin de bien séparer les bords des deux lames de plomb qui pourraient tendre à se toucher.

Digitized by Google

« L'enroulement une fois effectué, on enlève, avec précaution, le rouleau intérieur, et, pour donner plus de stabilité au système, on maintient les spires à leur place, d'une manière définitive, à l'aide de petits croisillons en gutta-percha ramollis par la chaleur.

« Le couple ainsi construit est introduit ensuite dans un vase

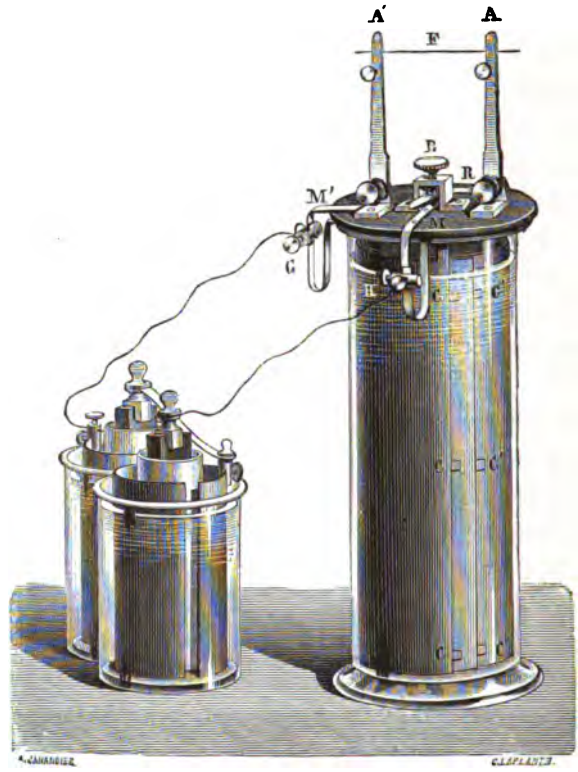


Fig. 45. — Pile secondaire de M. Planté chargée par deux éléments de Bunsen.

cylindrique en verre, et assujetti, à l'intérieur, par de petites cales en gutta-percha. Le vase est rempli d'eau acidulée au $\frac{1}{10}$ par l'acide sulfurique.

« La figure 45 représente un couple ordinaire d'assez grande dimension, construit comme nous venons de le dire, et indique aussi la disposition que nous avons donnée au système des

Digitized by Google

communications pour charger le couple ou le décharger, et montrer les effets qu'il peut produire.

« Le vase en verre contenant les lames de plomb immergées dans l'eau acidulée est recouvert d'un disque en caoutchouc durci qui porte les pièces métalliques destinées à fermer le circuit secondaire, quand le couple est chargé. Les extrémités des deux lames de plomb communiquent, à l'aide des pinces G et H, à la fois avec une pile primaire formée de deux éléments de Bunsen de petite dimension et avec les lamelles de cuivre MM'. La lamelle M est disposée au-dessous d'une autre lamelle de cuivre R, dont l'extrémité prolongée, formant ressort, peut être abaissée et pressée par le bouton B, et la lamelle M se trouve alors en communication avec la pince A. La lamelle M', d'autre part, est en communication constante avec la pince A', et, entre les branches de ces deux pinces, sont placés les fils métalliques destinés à être rougis ou fondus par le courant secondaire. On peut encore faire aboutir à ces deux pinces les fils provenant de tout autre appareil dans lequel on veut faire passer le même courant.

« Ce système de communications, installé de la manière la plus simple possible pour tenir sur le couvercle d'un vase, ne rompt pas le courant primaire, quand on ferme le circuit secondaire. Si donc on veut essayer l'effet du couple secondaire seul, on le sépare de la pile primaire en détachant les fils G et H, et on serre ensuite le bouton B. Mais si on laisse ces fils en communication avec le couple secondaire, lorsqu'on veut le décharger en serrant le bouton, cela n'a aucun inconvénient ; l'appareil n'en fonctionne pas moins ; ses effets se trouvent même légèrement augmentés par l'action de la pile primaire qui s'ajoute à celle du couple secondaire, qui sont en opposition pendant la charge, se trouvent associés en *quantité* lors de la décharge. »

Action chimique produite dans les couples secondaires à lames de plomb. — Pour bien comprendre comment les piles secondaires peuvent fournir des décharges de longue durée, conserver leur charge longtemps après l'action

Digitized by Google

de la pile primaire et *emmagasiner* ainsi le *travail chimique* de la pile ou le *travail mécanique* dépensé sur le moteur lorsque la pile secondaire est chargée par une machine magnéto-électrique. étudions, avec M. Planté, l'action produite dans les couples secondaires :

« Lorsqu'un couple secondaire de grande surface est neuf, et qu'on vient à le faire traverser par le courant de deux couples de Bunsen, le gaz oxygène apparaît presque immédiatement sur la lame positive ; une portion oxyde, en même temps, la surface de la lame, et celle-ci ne tarde pas à être recouverte d'une couche très mince de peroxyde de plomb.

« D'un autre côté, l'hydrogène, après avoir réduit la faible couche d'oxyde dont le plomb peut être couvert par l'exposition à l'air, ne tarde pas à apparaître, et si, au bout de quelques instants, on essaie le courant secondaire produit par l'appareil, on constate qu'il est déjà très énergique par la vivacité de l'étincelle produite, lorsqu'on ferme et qu'on rompt aussitôt le circuit secondaire, avec un conducteur en cuivre peu résistant. Mais le courant ainsi obtenu est de très courte durée.

Si, après avoir fermé le circuit jusqu'à l'anéantissement du courant secondaire, on charge une seconde fois l'appareil, les lames se trouvent alors dans un état un peu différent de celui où elles étaient en commençant. Pendant la fermeture du circuit secondaire, l'oxygène, se portant sur la lame qui était négative lors du passage du courant, a peroxydé légèrement cette lame, en même temps que le peroxyde formé sur l'autre lame, lors du passage du courant principal, se réduisait par l'hydrogène. On a donc, après une première expérience, deux lames dont la surface présente un état moléculaire différent de celui où elles se trouvaient lorsqu'elles étaient neuves. Elles sont recouvertes de couches minces d'oxyde et de métal réduit qui faciliteront l'action ultérieure du courant principal sur le couple secondaire.

« Si l'on considère d'abord la lame de plomb qui était négative lors du passage du courant principal pour la première fois, cette lame est, comme on vient de le voir, recouverte d'une couche

Digitized by Google

d'oxyde après le passage du courant secondaire. Il en résulte que, si l'on fait de nouveau passer le courant principal, les premières portions d'hydrogène seront consacrées à réduire cette couche d'oxyde, au lieu de la couche plus faible résultant seulement de l'exposition à l'air, comme cela avait lieu précédemment. Par suite, un retard plus grand que la première fois se produira dans l'apparition de l'hydrogène à la surface de cette lame; car ce gaz ne commencera à se dégager que lorsque l'oxyde sera parfaitement réduit à l'état de plomb pulvérulent ou très divisé à la surface de cette lame.

« Si l'on étudie ce qui se passe sur la lame positive pour la seconde fois, pendant l'action du courant principal, les premières portions d'oxygène qui tendent à se dégager à la surface rencontrent, cette fois, une couche de peroxyde réduit ou de plomb métallique divisé, sur laquelle ce gaz a plus de prise, s'il est permis de parler ainsi, que sur la lame de plomb servant pour la première fois; le gaz est plus facilement absorbé, et l'on commence aussi à constater un retard dans l'apparition de l'oxygène sur cette lame, retard qui correspond au temps nécessaire pour oxyder de nouveau la couche de plomb réduit à la surface.

« Quand on ferme de nouveau le circuit secondaire, les phénomènes précédemment décrits se reproduisent et l'on conçoit que, lorsqu'on aura renouvelé ces opérations un très grand nombre de fois, les surfaces de plomb du couple secondaire se trouveront dans un état plus favorable pour l'oxydation ou la réduction; les couches d'oxyde alternativement formées ou réduites deviendront plus épaisses, et les effets secondaires qui en résultent présenteront plus de durée et d'intensité.

« C'est, en effet, ce qu'on observe; plus un couple secondaire reçoit l'action d'un courant primaire et fonctionne lui-même après cette action, plus est longue la durée du courant secondaire. »

La formation d'un couple secondaire exige une foule de précautions décrites avec un soin minutieux dans l'ouvrage de M. Planté. La formation consiste en une sorte de *tannage* électro-

Digitized by Google

chimique. Lorsqu'un couple est bien formé, il peut s'écouler 20 à 30 minutes pendant la charge du couple avec deux éléments de Bunsen, si la surface du couple atteint un mètre carré. Tout le travail des piles s'accumule sous forme d'oxydation du plomb d'une part et, d'autre part, de réduction du plomb oxydé produit par la fermeture antérieure du courant secondaire.

Lorsque les gaz commencent à se dégager, dans un couple bien *formé*, on est averti que la pile n'effectue plus sensiblement de travail utile à la production du courant secondaire.

Puissance et durée de la décharge des couples secondaires. — Un couple secondaire bien chargé peut fournir une décharge qui dépend de la grandeur des lames, de l'épaisseur des dépôts produits et enfin de la résistance extérieure du circuit.

La décharge est très constante tant que la pile renferme de l'électricité emmaganisée sous forme de travail chimique.

De même qu'un vase très large contenant une grande quantité de liquide, sous une très faible hauteur, fournirait pendant longtemps, par un petit orifice, un écoulement à peu près constant et cessant d'une manière rapide, dès que le liquide arrive au-dessous du niveau de l'orifice, de même un couple secondaire de grande surface, soit qu'il rougisse un fil métallique, soit qu'il produise une déviation galvanométrique, n'accuse une diminution d'intensité que quelques instants avant de cesser complètement de fournir de l'électricité.

Le fait est frappant quand on décharge le courant secondaire en lui faisant traverser un fil fin de platine. L'incandescence se maintient longtemps uniforme et cesse brusquement, dès que la provision de travail chimique, accumulée dans le couple, est épuisée.

La force électro-motrice d'un couple secondaire bien formé atteint environ deux volts et demi, ce qui explique pourquoi il faut au moins trois éléments Daniell ou deux éléments Bunsen pour le charger complètement.

La faible résistance intérieure des couples, qui varie entre un

Digitized by Google

vingtième et un cinquième de ohm, explique la quantité fournie par ces appareils. On peut aussi charger les éléments Planté avec des machines Gramme de laboratoire, et la figure 46 représente cette expérience ; mais dans ce cas il convient que la vitesse ne descende pas au-dessous d'une certaine valeur, pour laquelle la pile se déchargerait inutilement dans la machine. Pour remédier à cet inconvénient, nous avons combiné un conjoncteur et disjoncteur automatique qui retire la batterie secondaire du circuit dès que la force électro-motrice de la machine devient trop faible

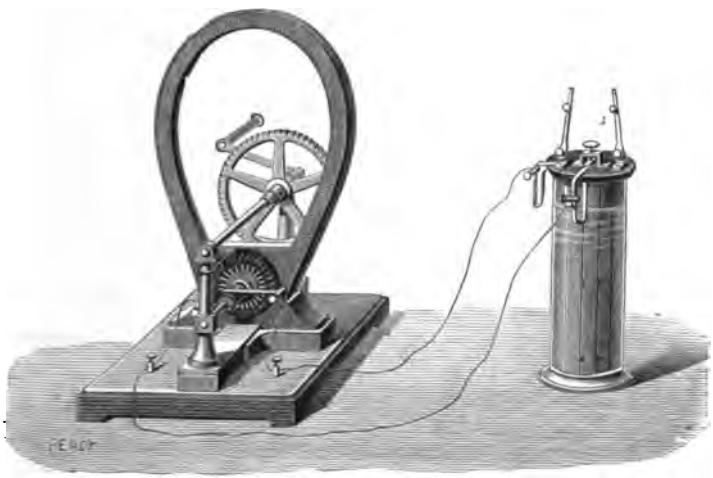


Fig. 46. — Élément Planté chargé par une machine Gramme de laboratoire.

pour la charger, et la replace dans ce circuit dès que la force électro-motrice est devenue assez grande pour effectuer le chargement. (Voir *la Lumière électrique* du 15 juin 1880.)

Les couples secondaires peuvent conserver longtemps la charge accumulée. Ainsi le couple secondaire bien formé et bien chargé peut encore rougir un fil de platine de un demi-millimètre de diamètre, pendant quelques minutes, deux ou trois semaines après avoir été chargé.

Cet effet a même été obtenu par M. Planté, avec des couples exceptionnellement bien formés, plus d'un mois après les avoir soumis à l'action du courant primaire.

Digitized by Google

M. Planté a mesuré le rapport du travail électrique *restitué* par la décharge à celui du travail électrique *dépensé* pour la charge en décomposant du sulfate de cuivre dans un voltamètre. Le *rendement* a été trouvé être de 88 à 89 p. 100; le couple secondaire est donc un accumulateur assez parfait du travail de la pile voltaïque.

Nous regrettons vivement que M. Planté n'ait pas continué ses expériences en calculant le nombre des calories emmagasinées ou le nombre de *kilogrammètres* que peut fournir un couple bien chargé. Ces chiffres seraient très précieux pour certaines applications, car ils nous feraient connaître la valeur du couple secondaire au point de vue de sa *capacité*.

Allumeur électrique de M. Planté. — La figure 47 montre une forme particulière que M. Planté a donnée à l'élément secondaire et qu'il a désignée sous le nom de *briquet de Saturne*. On voit à la partie supérieure de la boîte deux petites pinces entre lesquelles est tendu un fil de platine : chaque fois qu'en appuyant avec le doigt on amène au contact les deux ressorts placés sur la base, la pile envoie un courant au travers du fil de platine et le rougit, d'où résulte l'inflammation presque instantanée de la bougie. Avec un briquet de Saturne bien chargé on peut allumer cent fois la bougie, et c'est seulement après ce grand nombre d'inflammations qu'on a besoin de le recharger avec trois éléments Daniell. C'est là un nouveau moyen d'obtenir du feu et c'est un moyen très économique, car le couple secondaire lui-même ne dépense rien et la pile de charge ne consomme que quelques grammes de sulfate de cuivre pour un travail très prolongé du briquet.

Fig. 47. — Briquet électrique avec pile secondaire de M. Planté.

Ce même appareil peut servir à mettre le feu aux mines pour l'usage civil ou militaire ; l'expérience montre qu'avec des amor-

Digitized by Google

ces à fil de platine assez fin ($\frac{1}{20}$ de millimètre) on peut produire une inflammation à travers un fil de cuivre de 900 mètres de longueur et 3 millimètres de diamètre.

Batteries d'emmagasinement de MM. Houston et Thomson. — Dans l'appareil imaginé par ces deux savants américains, le phénomène secondaire sur lequel est fondé le principe d'accumulation n'est autre chose que la décomposition chimique des sels, le sulfate de zinc dans le cas particulier, par le courant électrique.

MM. Houston et Thomson se sont proposé d'emmagasiner le courant produit par des machines dynamo-électriques et de l'utiliser ultérieurement pour les appareils télégraphiques, les sonneries, les avertisseurs d'incendie, le service des communications télégraphiques, les moteurs domestiques de petite puissance, etc., etc.

La figure 48 représente le principe de leur batterie d'emma-

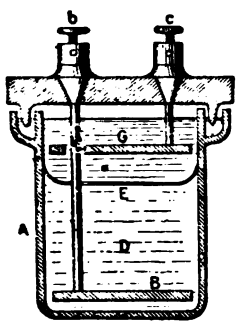


Fig. 48. — Élément simple.

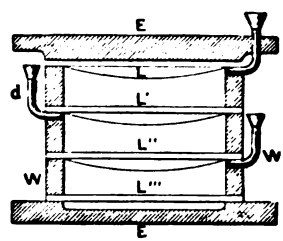


Fig. 49. — Série d'éléments.

Batteries d'emmagasinement de l'électricité de MM. Houston et Thomson.

gasinement et la figure 49 une série d'éléments disposés en tension pour produire des effets plus intenses. Dans la figure 48, B est une plaque de cuivre reliée à la borne *b*, et C une plaque de charbon reliée à la borne *c*. Le vase A, qui renferme les deux plaques, est rempli d'une solution de sulfate de zinc E; est un diaphragme poreux qui sépare les deux plaques.

Si un courant venant d'une machine dynamo-électrique traverse

Digitized by Google

l'appareil dans le sens *bc*, le sulfate de zinc sera décomposé, et du zinc métallique se déposera sur la plaque de charbon C, tandis qu'il se formera, à la partie inférieure du vase A, une solution concentrée de sulfate de cuivre. La durée du dépôt ou de la charge n'est limitée que par la quantité de sulfate de zinc que renferme le vase et par l'épaisseur de la plaque de cuivre B. On a donc constitué ainsi un *élément-gravité*, analogue à l'élément Callaud, susceptible de fournir un courant électrique tant que la plaque de charbon C est recouverte de zinc.

Il va sans dire que, lorsqu'on *dépense* l'électricité ainsi emmagasinée, il se reforme du sulfate de zinc, et le cuivre se dépose de nouveau sur la plaque inférieure B. L'appareil de MM. Houston et Thomson n'est donc en réalité qu'une pile Callaud dans laquelle on régénère le zinc transformé en sulfate de zinc, en utilisant le travail mécanique fourni par la machine à vapeur qui actionne la machine dynamo-électrique effectuant le chargement.

La figure 49 représente plusieurs couples montés en série. L, L′, L″, L‴ sont des plaques en cuivre séparées par des anneaux isolants ; les intervalles entre ces plaques sont remplis de la dissolution de sulfate de zinc ; les tubes latéraux *d* permettent la dilatation des liquides. La batterie chargée est analogue à la pile à colonne de Volta. Bien que l'emmagasinement de l'électricité ne dépende plus de la *surface* des plaques, mais de la *quantité* de sulfate de zinc, comme la force électro-motrice de chaque élément est égale à celle d'un élément Daniell, et que la résistance intérieure doit être assez grande, il faut un nombre d'éléments assez grand pour produire des effets importants, et si l'on gagne sur la durée du fonctionnement de la pile sans charge nouvelle, il nous semble qu'à puissance égale, elle doit être beaucoup plus encombrante et plus lourde que la pile secondaire de M. Gaston Planté.

Condensateur voltaïque de M. d'Arsonval. — Au moment même où MM. Houston et Thomson combinaient leur batterie accumulatrice en Amérique (octobre 1879), M. d'*Arsonval*,

Digitized by Google

préparateur au Collège de France, étudiait la même question,

Fig. 50. — Bobine d'induction de M. William Spottiswoode, construite par M. Apps.

dans le but d'augmenter la charge accumulée dans la pile secondaire de M. Planté.

Digitized by Google

Dans la note présentée à l'Académie des sciences le 26 janvier 1880, M. d'Arsonval décrit son couple secondaire, qui se compose d'une lame de zinc et d'une lame de charbon placées dans un vase poreux rempli de grenaille de plomb ou de cendrée, le tout baigné par une solution concentrée de sulfate de zinc.

Si on charge le couple par un courant allant du charbon au zinc, le sel de zinc est électrolysé : le zinc se dépose sur la lame de zinc, l'oxygène vient former sur la cendrée de plomb du peroxyde de plomb, l'acide sulfurique reste à l'état libre. Le dépôt du métal oxydable, le zinc, n'est donc plus limité, et l'oxygène peut s'accumuler en plus grande quantité, sous la forme de peroxyde de plomb. On peut substituer au plomb du manganèse, de l'argent et du cuivre, qui donnent aussi de bons résultats, mais aucun d'eux n'approche du peroxyde de plomb, adopté par M. Planté.

Tel est l'appareil de M. d'Arsonval ; un couple contenant 1 kilogramme de cendrée a pu faire marcher pendant quatre heures, à vide, un petit moteur de M. Marcel Deprez.

M. *Varley* a aussi imaginé des batteries secondaires faites sur un principe analogue à celui de MM. Houston et Thomson.

La meilleure, sans contredit, est la pile secondaire de M. Planté.

C'est la seule qui, jusqu'ici, ait reçu des applications importantes dans la pratique. La question d'emmagasinement du travail sous forme chimique dans les batteries secondaires et sa restitution sous forme électrique présente le plus grand intérêt et le plus grand avenir. Nous en dirons quelques mots à propos des moteurs électriques ; nous ne saurions trop encourager les recherches dans cette voie, car un accumulateur électrique léger et puissant recevrait un nombre d'applications dont l'énumération seule remplirait ce volume. Nous devons signaler aussi le procédé d'accumulation proposé par un jeune savant anglais, M. *Ayrton*, au congrès de l'*Association britannique* à Sheffield, en août 1879. M. Ayrton proposa d'emmagasiner le travail des chutes d'eau en décomposant l'eau *sous pression* et en utilisant ultérieu-

Digitized by Google

rement l'hydrogène ainsi produit. Nous retrouvons ici, sous une autre forme, et avec le principe de la compression en plus, l'idée qui a présidé à la formation de la compagnie l'A*lliance*, mais comme il ne s'agit plus de brûler du charbon pour produire les gaz, mais bien d'utiliser des forces naturelles, la question se présente sous un point de vue plus philosophique.

Bobines d'induction. — Nous n'avons pas à faire ici l'historique de ces appareils qui ont rendu célèbre le nom de *Ruhmkorff* et ont valu à ce savant et modeste constructeur un grand prix de 50,000 francs décerné par l'Académie des sciences.

Nous les signalons seulement ici parce qu'elles entrent bien dans notre classification. Une bobine d'induction n'est autre chose qu'un transformateur électrique recevant de l'électricité des piles, et la transformant en électricité de haute tension analogue, quant à ses effets, à l'électricité dite statique. Ces courants sont caractérisés par cette haute tension d'une part et par leur faible intensité ou quantité d'autre part. Cela explique pourquoi ces courants, capables de franchir de grandes résistances, ne peuvent agir que très faiblement lorsqu'ils traversent des électro-aimants dans lesquels l'action magnétique est fonction de l'intensité du courant, à moins que ces électro-aimants soient enroulés de fil très fin et très long.

On sait toutes les applications qu'a reçues la bobine de Ruhmkorff pour l'inflammation des mines, des torpilles, les applications médicales, l'éclairage des tubes de Geissler, les expériences de physique, etc., etc.

On ne peut donc plus considérer cet intéressant appareil comme une application *nouvelle* de l'électricité, mais nous donnerons néanmoins la description d'une bobine d'induction remarquable par les effets qu'elle produit et qui peut être considérée comme la plus puissante qui ait été construite jusqu'à ce jour.

Bobine d'induction de M. W. Spottiswoode. — M. *William Spottiswoode*, le président actuel de la Société Royale de Londres, a fait construire par M. Apps une bobine d'induction d'une puissance remarquable et qui a fourni des

Digitized by Google

étincelles dont la longueur atteint jusqu'à 110 centimètres. Le bruit produit par chaque étincelle est comparable à un coup de pistolet.

L'aspect général de l'instrument est représenté figure 50. La bobine est portée par deux piliers massifs de bois, recouverts de gutta-percha et paraffinés à leurs deux extrémités. Outre ces deux supports, on en voit un troisième au milieu et dont la hauteur peut être réglée au moyen d'une vis, pour résister à la flexion de la pièce principale.

La bobine peut fonctionner avec deux circuits inducteurs qu'on utilise à tour de rôle. Deux personnes peuvent enlever l'un et lui substituer l'autre, en quelques minutes.

Le premier, qui sert aux longues étincelles et en réalité à la plupart des expériences, a un noyau composé d'un faisceau de fils de fer de $\frac{8}{10}$ de millimètre chacun, et formant ensemble un cylindre de $1^m,10$ de longueur et de 9 centimètres de diamètre. Il a un poids de plus de 30 kilogrammes. Le fil de cuivre qui constitue l'inducteur a une longueur de 600 mètres, un diamètre de 2,23 millimètres, une conductibilité de 93 centièmes, une résistance totale de 2,3 ohms, et un poids de 25 kilogrammes à peu près. Il est enroulé sur le faisceau de fils de fer, en 1344 spires disposées en 6 couches et se présente enfin sous la forme d'un cylindre de $1^m,06$ centimètres, et d'un diamètre extérieur de 12 centimètres.

L'autre système inducteur, qui est destiné à fonctionner avec des piles de plus grande surface et à donner des étincelles courtes et nourries, pour des expériences de spectroscopie, a un noyau de fils de fer de $\frac{8}{10}$ de millimètre comme les précédents, réunis ensemble et formant un cylindre de $1^m,11$ de long et de 97 millimètres de diamètre. Le poids de ce noyau est de 41 kilogrammes. Le fil de cuivre est le même que dans le premier circuit inducteur mais, le conducteur qui a 459 mètres de long est composé de deux fils parallèles. Il est divisé en trois sections de chacune deux couches ; leurs résistances sont respectivement 0,181, 0,211 et 0,231 ohms. La longueur du cylindre ainsi composé est de $1^m,01$,

Digitized by Google

et son diamètre de 14 centimètres. Le poids de ce fil est de 38 kilogrammes.

Grâce à une disposition nouvelle, on peut disposer ces trois sections en une seule série, ce qui donne un conducteur de $4^{mm},87$ de diamètre, ou en dérivation, ce qui donne l'équivalent d'un conducteur unique de $14^{mm},63$ de diamètre.

Ce fil conducteur a été employé pour fournir des étincelles de 86 centimètres de longueur (dans l'air avec une pile de Grove de 10 éléments dont les électrodes de platine avaient 76 millimètres sur 159).

Le circuit secondaire se compose de 450 kilomètres de fil formant un cylindre de 95 centimètres de longueur, de 50 centimètres de diamètre extérieur et 24 centimètres de diamètre intérieur. La conductibilité de ce fil est de 94 p. 100 et sa résistance totale de 110 200 ohms. Il est distribué en 4 sections ; dans les deux du milieu, le fil a environ $0^{mm},24$ de diamètre ; dans les deux sections extérieures le fil a pour l'une $0^{mm},28$ et pour l'autre $0^{mm},29$ de diamètre. La raison d'être de ce diamètre plus grand du fil induit vers les extrémités que vers le centre, est la charge accumulée que ces parties du conducteur ont à supporter. Chacune de ces sections est composée elle-même de disques plats qui ont l'épaisseur d'environ 200 couches du fil dont ils sont formés. Enfin le nombre total de spires du circuit induit s'élève à 341 850.

La grande longueur de fil nécessaire se comprend, si on songe que les spires extérieures ont près de 1 mètre et demi. On admet que l'étincelle croît plutôt avec le nombre de spires qu'avec sa longueur, à la condition qu'un bon isolement soit assuré dans toutes les parties. Pour marcher sûrement à un résultat satisfaisant, on essaya chaque disque séparément avec grand soin ; on les essaya de nouveau en séries, et on nota tous les résultats fournis. Comme épreuve suprême, on fit agir sur la bobine 70 éléments de Grove sans que l'isolement fût endommagé.

Le condensateur approprié à cette bobine est beaucoup moins grand qu'on n'eût pu croire. Après de nombreuses expériences,

Digitized by Google

on s'arrêta à une dimension employée par M. Apps pour des bobines destinées à donner 25 centimètres d'étincelle. Ces condensateurs sont formés de 126 feuilles d'étain de 45 — 21 centimètres, séparées par une double épaisseur de papier verni, mesurant au total $0^{mm},28$.

Voici quelques-uns des effets obtenus avec ce puissant appareil (on se servait du premier système inducteur) :

Avec 5 grands couples de Grove, l'étincelle atteint 71 centimètres ;

Avec 10 couples on obtient 89 centimètres ;

Avec 30 — — 106 1/2.

On arriva même dans quelques cas à 109 ou 110 centimètres.

On sait que les bobines d'induction ou *inductoriums*, comme on les appelle en Angleterre, donnent deux courants d'induction, l'un au moment de la fermeture du circuit inducteur, l'autre au moment de la rupture. Le premier ne présente pas de tension, et c'est le second qui fournit les étincelles. Les expériences faites avec le bel appareil qui nous occupe, ont démontré que la tension du courant induit (de fermeture) peut atteindre une valeur notable ; on en a obtenu des étincelles qui ont atteint 31 millimètres.

Ce fait sans précédent est digne de la plus grande attention. La longueur de l'étincelle du courant de fermeture dépend naturellement de l'intensité du courant inducteur et augmente avec elle.

On a pu également percer des blocs de flint-glass de 75 millimètres d'épaisseur, sans même faire usage des piles qui donnent le maximum d'effet.

Courants continus de haute tension. — Les bobines d'induction fournissent un courant de très haute tension, mais intermittent et alternatif, ou plus exactement fournissent deux espèces de courant parfaitement distinctes, le courant de *fermeture*, ayant peu de tension et beaucoup de quantité relative, suivi d'un courant induit de *rupture* ayant une tension énorme, mais beaucoup moins de quantité.

Digitized by Google

Il peut être utile, dans certaines expériences, d'avoir un courant continu de haute tension.

M. *Warren de la Rüe* a résolu le problème en employant 11000 éléments de sa pile à chlorure d'argent que nous avons décrite page 25. Mais la résistance de ces éléments est assez grande et, d'autre part, 11000 éléments occupent un certain espace et représentent une somme assez considérable.

M. *Gaston Planté*, qui a fait une série de recherches du plus grand intérêt sur les courants de haute tension, a employé des batteries secondaires de 200 à 800 éléments, pouvant obtenir ainsi un effet équivalent, pendant les premiers instants, à celui de 300 à 1200 éléments de Bunsen. La tension de chaque couple étant toujours supérieure à *deux volts*, elle atteint 2,8 volts au commencement de la décharge ; on voit que les 800 couples secondaires peuvent fournir, dans un très petit volume, une tension supérieure à celle de 2000 éléments Daniell, avec une quantité beaucoup plus grande.

La figure 51 représente la disposition de 400 éléments divisés en 10 batteries de quarante couples. Il suffit de *deux couples* de Bunsen pour les charger par groupes en quantité, puis, à l'aide d'un commutateur spécial, on les groupe en tension pour effectuer la décharge. On dépense en quelques secondes le travail de plusieurs heures des deux éléments Bunsen, ce qui explique la puissance des effets.

Ces expériences, où le courant réunit à la fois la tension et la quantité, présentent le plus grand danger et il faut manœuvrer les appareils avec beaucoup de précautions. M. Planté reçut un jour la décharge de 600 couples qui produisit une commotion extrêmement forte et *l'impression d'un fer brûlant traversant* tout le corps, *en remontant jusqu'à la nuque*. Toutefois cet accident n'eut heureusement aucune suite fâcheuse. Mais il n'en eût pas été peut-être de même, ajoute M. Planté, si les 800 couples secondaires avaient été alors en fonction.

Machine rhéostatique de M. Planté. — Nous avons vu que M. Planté avait obtenu des tensions de plus de deux mille

Digitized by Google

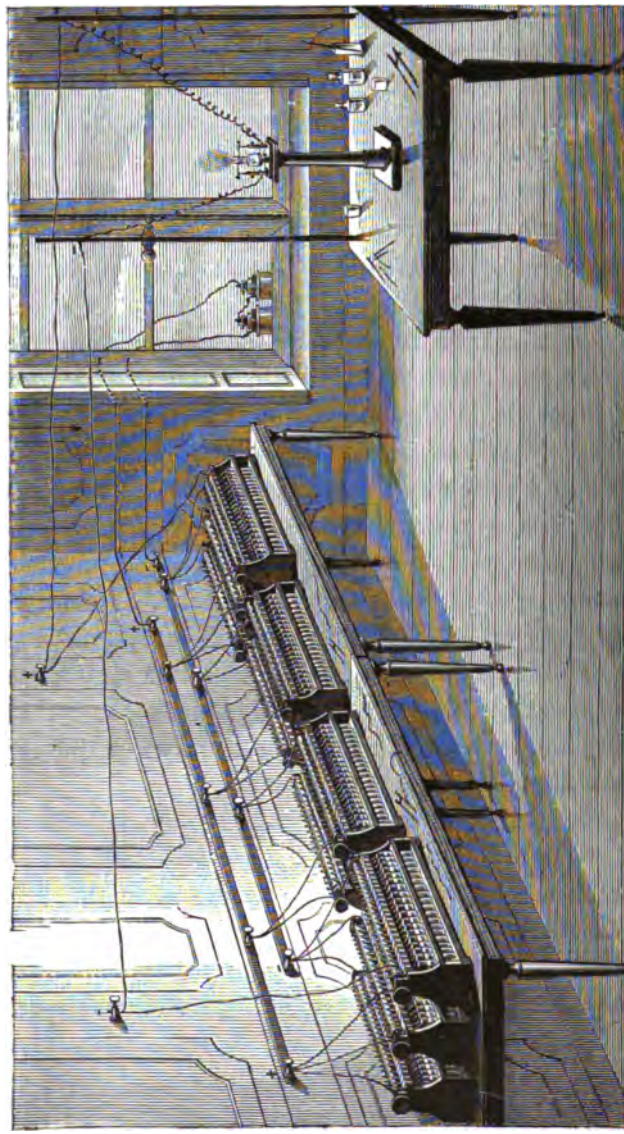


Fig. 51. — Batteries secondaires de M. Gaston Planté disposées pour l'étude des phénomènes produits dans les liquides par des courants de haute tension.

Digitized by Google

volts avec huit cents éléments secondaires. Ces effets ont encore été augmentés et la *machine rhéostatique* a permis de *transformer* plus complètement la force de la pile voltaïque et d'obtenir une tension équivalente à celle des appareils de l'électricité statique.

Voici comment M. Planté a été amené à imaginer cet intéressant transformateur électrique. Nous lui rendons encore une fois la parole :

« Après avoir constaté combien il était facile de charger rapidement, avec la batterie de 800 couples, un condensateur à lame

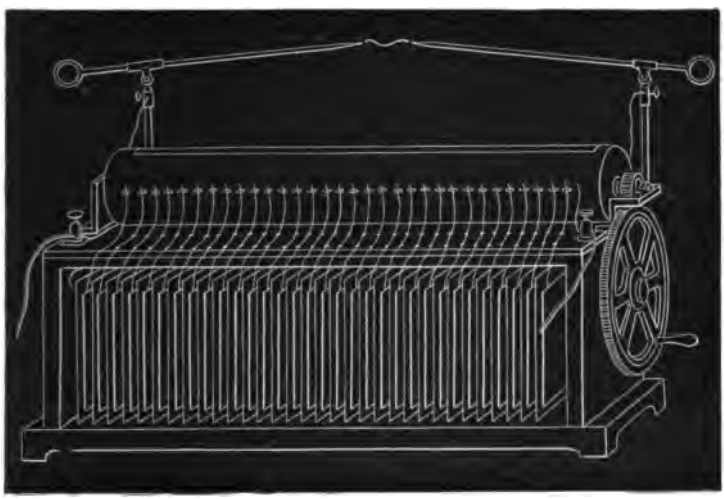


Fig. 52. — Machine rhéostatique de M. Planté.

isolante suffisamment mince, en verre, mica, gutta-percha, paraffine, etc., j'ai réuni un certain nombre de condensateurs formés, de préférence, avec du mica recouvert de feuilles d'étain, et je les ai disposés comme les couples de la batterie secondaire elle-même, de manière à pouvoir être aisément chargés en *quantité*, et déchargés en *tension*.

« Toutes les pièces de l'appareil ont dû être naturellement isolées avec soin. Le commutateur est formé d'un long cylindre en caoutchouc durci, muni de bandes métalliques longitudinales,

Digitized by Google

destinées à réunir les condensateurs en surface, et traversé en même temps par des fils de cuivre, coudés à leurs extrémités, ayant pour objet d'associer les condensateurs en tension. Des lamelles ou des fils métalliques façonnés en ressort sont mis en relation avec les deux armatures de chaque condensateur et fixés, sur une plaque en ébonite, de chaque côté du cylindre qui peut être animé d'un mouvement de rotation.

« Si l'on fait communiquer les deux bornes de l'appareil avec la batterie de 800 couples, même plusieurs jours après l'avoir chargée avec deux éléments de Bunsen, et si l'on met le commutateur en rotation, on obtient, entre les branches de l'excitateur auxquelles aboutissent les armatures des condensateurs extrêmes, une série d'étincelles tout à fait semblables à celles que donnent les machines électriques munies de condensateurs.

« En employant un appareil formé seulement de trente condensateurs, ayant chacun 3 décimètres carrés de surface, j'ai obtenu des étincelles de 4 centimètres de longueur.

« La tension d'une batterie secondaire de 800 couples n'est pas nécessaire pour produire des effets marqués avec cet appareil. En ne faisant agir que 200 couples, on a des étincelles de 8 millimètres, et l'on pourra, sans doute, en diminuant encore l'épaisseur des lames isolantes et en multipliant le nombre des condensateurs, obtenir des effets avec une source d'électricité de moindre tension.

« Il y a lieu de remarquer que les décharges d'électricité statique, fournies par l'appareil, ne sont pas de sens alternativement positif et négatif, mais toujours dans le même sens, et que la perte de force résultant de la transformation doit être moindre que dans les appareils d'induction, car le circuit voltaïque n'étant pas fermé un seul instant sur lui-même, il n'y a pas conversion d'une partie du courant en effet calorique. On peut maintenir longtemps l'appareil en rotation et produire un nombre considérable de décharges, sans que la batterie secondaire paraisse sensiblement affaiblie.

« Cela vient de ce que chaque décharge n'enlève qu'une quan-

Digitized by Google

tité très minime d'électricité, et que, comme il est dit plus haut, le circuit de la batterie n'est pas fermé par un corps conducteur. L'électricité de la source se répand simplement sur les surfaces polaires offertes par tous les condensateurs, au fur et à mesure qu'on les décharge. Mais cette émission constamment répétée doit finir néanmoins par enlever une certaine quantité d'électricité, et, quand l'instrument est chargé par une batterie secondaire, il ne semble pas impossible d'épuiser à la longue, sous forme d'effets statiques, la quantité limitée d'électricité que peut fournir le courant de la batterie.

« On réalise donc ainsi, par une autre voie que celle de l'induction proprement dite, à l'aide d'un simple effet d'influence statique sans cesse renouvelé, la transformation de l'électricité dynamique, de sorte que cet appareil peut être désigné sous le nom de *machine rhéostatique*. »

Après avoir passé en revue les différentes méthodes par lesquelles l'intelligence de l'homme engendre et transforme les courants électriques, nous allons examiner quelques-unes des applications intéressantes dans lesquelles il a su dompter cette force mystérieuse et lui faire accomplir des merveilles.

Digitized by Google

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Bien que l'éclairage électrique ne soit pas celle des applications de l'électricité qui ait reçu jusqu'ici le plus grand développement, c'est celle qui doit figurer au premier rang parmi elles, autant au point de vue de son avenir que de son ancienneté.

C'est en effet en 1813 que le célèbre physicien anglais *Humphry Davy* produisit l'arc voltaïque pour la première fois, avec une pile de 2,000 éléments zinc et cuivre ; mais ce n'est qu'en 1842 que des expériences faites par MM. *Deleuil* et *Archereau* firent pressentir la possibilité de son emploi comme moyen d'éclairage public.

Ajoutons encore qu'à cette époque on ne connaissait que les piles hydro-électriques comme sources d'électricité. Les machines électro-dynamiques étaient encore dans l'enfance et les moyens de régulariser la lumière plus que primitifs.

En 1857, les machines de l'*Alliance*, perfectionnées par Van Malderen, montrèrent que la lumière électrique pouvait être produite avantageusement dans certains cas spéciaux, et leur application à l'éclairage des phares de la Hève, dès l'année 1863, fit entrer la lumière électrique pour la première fois dans la pratique courante.

L'invention de la machine de Gramme en 1870 donna un

Digitized by Google

nouvel essor à l'éclairage électrique qui n'avait reçu jusqu'à cette époque qu'un nombre restreint d'applications, et enfin la découverte de M. Jablochkoff, en 1876, acheva de mettre à l'ordre du jour un éclairage nouveau destiné, non pas à détrôner le gaz, comme l'affirment certaines personnes intéressées et exclusives, mais à le remplacer dans un grand nombre d'applications où la lumière électrique présente des qualités de nature à en dicter l'emploi, de préférence à tous les autres éclairages artificiels.

Après avoir décrit les différents modes de production de la lumière électrique, nous examinerons certaines installations dans lesquelles l'éclairage électrique a su, du premier coup, conquérir une place que le gaz ne saurait lui disputer ni lui reprendre, pas plus que l'éclairage électrique ne saura jamais se substituer au gaz dans certaines applications où ce dernier conservera toujours une indiscutable supériorité.

Modes de production de la lumière électrique. — Tout éclairage électrique comprend deux parties parfaitement distinctes :

1° Le générateur électrique ;

2° La lampe électrique.

Après avoir étudié les différents procédés employés pour la production de la lumière, il nous sera plus facile d'apprécier la valeur des différentes sources d'électricité par rapport aux appareils qu'elles doivent alimenter ; tous les générateurs électriques actuellement en usage ont d'ailleurs été décrits dans la première partie de cet ouvrage à laquelle nous renverrons le lecteur chaque fois qu'il sera question de l'un d'eux.

Le principe qui préside à la production de la lumière dans un éclairage *quelconque*, huile, pétrole, gaz ou électricité, est le suivant : Porter un corps solide, liquide ou gazeux à une haute température, la quantité de lumière produite étant d'autant plus grande que la température du corps est plus élevée.

Dans tous les éclairages, l'élévation de température est produite par la combustion de l'huile, du pétrole ou du gaz qui alimente le foyer lumineux. Dans la lumière électrique, la haute température

Digitized by Google

du point lumineux est produite par le courant traversant une résistance électrique et se transformant en chaleur *dans un espace très restreint*, *en échauffant un nombre relativement très faible de molécules*. Lorsque le courant électrique chauffe un conducteur gazeux, la lumière ainsi produite se nomme *arc voltaïque*. Cet arc voltaïque cependant ne devient très lumineux qu'à la condition que le conducteur gazeux renferme des particules détachées des électrodes qui, élevées à une très haute température, lui communiquent cet éclat éblouissant qui le caractérise. On emploie dans ce but des conducteurs en charbon de cornue ou en charbon aggloméré, comme nous le verrons plus tard. La combustion de ce charbon, en ajoutant la chaleur qu'elle produit à celle du courant, favorise la production et le maintien de cette haute température et contribue, dans une assez grande mesure, à l'éclat de la lumière.

Lorsqu'on emploie un conducteur solide, de faible conductibilité, le courant l'échauffe, le rend lumineux, et la lumière ainsi produite est de la lumière *par incandescence*.

De là résultent deux grandes divisions dans la production de la lumière électrique suivant qu'on emploie l'un ou l'autre des procédés que nous allons examiner successivement.

ARC VOLTAIQUE.

Quelle que soit la tension de la source électrique employée. elle est toujours insuffisante pour faire jaillir la lumière entre les deux électrodes si elles n'ont pas été préalablement amenées au contact. A ce moment, le gaz qui entoure les électrodes est échauffé par le courant, il devient plus conducteur, et on peut alors les écarter un peu, tout en maintenant le passage du courant à travers le conducteur gazeux.

Avec les courants de très haute tension, comme ceux fournis par les machines de Holz et les bobines d'induction, la décharge peut se produire entre les électrodes séparées par un certain in-

Digitized by Google

tervalle et produire de la *lumière électrique* dans le sens absolu du mot, mais non pas un *éclairage*.

Dans un intéressant *Aperçu historique sur la lumière produite par l'électricité*, publié par le journal *la Nature* en avril 1878, M. Antoine Bréguet fait remonter à *Otto de Guericke* (1602-1688), bourgmestre de Magdebourg, la première *lueur* produite par l'électricité.

Dans un mémoire lu à la Société Royale de Londres, le 6 février 1746, le docteur Watson fit remarquer que les étincelles électriques paraissaient de couleurs différentes selon la nature des substances d'où elles jaillissent, que le feu paraissait beaucoup plus rouge sortant des corps bruts, comme le fer rouillé, le cuivre oxydé, etc., que des corps à surface nette.

Ce fut Watson qui produisit en réalité le premier un véritable *éclairage* à l'électricité, puisqu'avec quatre de ses appareils il donnait naissance à des jets de flamme si grands et si rapprochés que, dans une chambre obscure, on apercevait distinctement les visages de treize personnes assistant à l'expérience.

Toutes ces expériences étaient faites avec l'électricité dite *statique* fournie par les machines à frottement. Il faut arriver jusqu'à la découverte de la pile faite par Volta pour obtenir la réalisation d'un lumière électrique puissante, de l'*arc voltaïque* proprement dit.

Sir Humphry Davy se servit d'une pile de 2,000 éléments d'une surface active de plus de 80 mètres carrés et obtint alors, entre deux tiges de charbon en communication avec les pôles, une lumière éblouissante et continue qui jaillisssait sans bruit sensible.

Pourquoi les machines à frottement qui donnent une étincelle ne peuvent-elles donner de lumière intense comme les piles ou les machines électro-dynamiques ?

Cela s'explique facilement en se reportant à ce que nous avons dit sur la *quantité* et la *tension* des courants électriques.

Le courant fourni par une pile présente en général une grande quantité et une faible tension, tandis que l'électricité fournie par

Digitized by Google

les machines à plateau de verre ou d'ébonite a, au contraire, une énorme tension et une faible quantité.

Puisque le grand éclat de l'arc voltaïque provient des particules de la substance des pôles, portées au rouge blanc éblouissant dans leur trajet d'un pôle à l'autre, on conçoit qu'une étincelle grêle, qui n'entraîne que peu de particules des électrodes, soit plus sensible au refroidissement causé par l'air ambiant.

En 1850, *Masson*, professeur de physique à l'École centrale, fit de nombreuses expériences sur l'arc voltaïque et montra que l'électricité ne produit pas de courant dans le vide absolu, ce qui impose la présence d'une matière pondérable dont la nature et la densité ont une grande influence sur la tension que le fluide électrique doit posséder pour produire un courant. Il établit que l'étincelle électrique est produite par un courant qui se propage à travers la matière pondérable et l'échauffe de la même manière, et suivant les mêmes lois qu'un courant voltaïque échauffe et rend lumineux un fil métallique.

Matteucci, vers la même époque, étudia la conductibilité de l'arc jaillissant entre des pointes de substance variée, et trouva qu'elle dépend moins de la conductibilité des métaux formant les pointes, que de la facilité que ces métaux ont à se fondre et à se volatiliser.

Il remarqua aussi la différence de température des deux pôles, différence d'autant plus grande que ces pôles sont constitués par une matière moins conductrice ou plus facile à se désagréger et à brûler par la chaleur. La grande différence que l'on observe entre deux pointes de charbon est due surtout à la combustion, qui, par l'échauffement très inégal des deux pôles, se produit inégalement, et dans un rapport de 2 à 1 environ, le pôle positif étant le plus chaud ; cet échauffement inégal est d'ailleurs accompagné par une différence dans la désagrégation moléculaire de leur substance qui peut, à son tour, modifier la résistance électrique et la chaleur développée.

La longueur de l'arc varie avec la tension du courant ; elle peut atteindre 4 à 5 centimètres avec des courants appropriés, sa forme

Digitized by Google

dépend aussi de sa longueur. Lorsque l'arc est court, il ressemble à une gerbe condensée de filets lumineux affectant une forme générale cylindrique.

Une atmosphère plus rare et de couleur violette entoure comme d'une gaine la première gerbe, et la base de ce cylindre annulaire s'élargit sur le charbon positif tandis que sa partie opposée s'éteint en arrivant au pôle négatif.

Si nous allongeons l'arc voltaïque, la gerbe devient moins condensée et plus grêle, et la gaine violette qui l'enveloppe présente davantage l'apparence d'une flamme. La partie centrale se compose de particules incandescentes qui se détachent des extrémités fondues des pointes, paraissent s'attirer entre elles et former une chaîne continue entre les pointes. La partie extérieure de l'arc est le produit de la matière encore plus divisée.

Fig. 53. — Arc voltaïque.

Dans l'air, l'arc voltaïque se produit et consume rapidement les charbons, mais inégalement, dans le rapport de 1 à 2 environ. Il résulte de cette combustion inégale que le point lumineux se déplace et que les électrodes se déforment; le pôle négatif s'apointit tandis que le pôle positif se creuse en forme de cratère (fig. 53) et entoure le point lumineux d'une sorte de rebord plus ou moins saillant.

Ces phénomènes se produisent avec les courants *continus*. Avec les courants *alternatifs*, l'usure des charbons est égale et régulière ; les deux extrémités sont en forme de pointe, ce qui dégage plus complètement le point lumineux.

Il ne faudrait cependant pas considérer la forme en cratère du point lumineux comme un inconvénient, car l'électrode creusée agit dans ce cas comme un réflecteur, et lorsque la lampe est assez élevée, le sol reçoit une quantité de lumière plus grande que le plafond, ce qui présente un avantage assez important.

Digitized by Google

Pour l'éclairage des phares même, la concavité déterminée sur l'électrode positive peut fournir, en plaçant convenablement le charbon négatif, une lumière qui augmente dans un rapport assez considérable l'intensité de la lumière émise *dans une direction donnée;* aussi préfère-t-on, en Angleterre, les courants continus aux courants alternatifs pour l'éclairage des phares.

La lumière ainsi produite est dite *lumière condensée;* on l'obtient en disposant le charbon inférieur, qui est négatif, de manière que son axe soit dans le prolongement du côté du charbon supérieur faisant face à l'horizon qu'on veut éclairer. Par cette disposition, si la lumière produite par les charbons placés dans le prolongement l'un de l'autre est 100, on obtient dans différentes directions les intensités suivantes :

Devant.....	287
Sur chaque côté.....	116
Derrière.....	38

On aura donc intérêt, suivant les applications, à produire de la lumière condensée ou de la lumière ordinaire.

Pour produire de la lumière électrique avec l'arc voltaïque, il faut donc trois choses distinctes :

1° Produire le courant électrique. Nous avons examiné dans la première partie tous les appareils qui résolvent plus ou moins complètement la question.

2° Envoyer le courant dans deux charbons. Nous allons voir, en examinant les charbons à lumière, que trouver un bon charbon n'est pas toujours chose facile et que, de ce côté encore, il y a beaucoup de recherches à faire.

3° Maintenir un écartement convenable entre ces deux charbons. C'est le rôle des régulateurs à arc voltaïque dont bien peu jusqu'ici, pour des causes diverses, remplissent exactement les fonctions qui leur sont dévolues.

Charbons à lumière. — Sir *Humphry Davy*, qui, le premier, vit jaillir l'arc voltaïque, se servait de charbon de bois éteint dans l'eau ou le mercure, mais la combustion était extrê-

Digitized by Google

mement rapide et ce charbon n'aurait jamais permis des éclairages électriques de longue durée. Un grand progrès fut fait lorsque *Foucault* eut l'idée d'employer le charbon des cornues à gaz, en y taillant des baguettes carrées. Ce charbon manque d'homogénéité et renferme de la silice qui fond, se vaporise et fait éclater le charbon au détriment de la fixité de la lumière.

En 1842, *Bunsen* cherchait à se procurer des cylindres creux de charbon moulé pour ses piles à acide azotique. Il imagina dans ce but de mouler de la houille sèche pulvérisée en l'agglomérant par une colle, puis de la cuire. Il obtenait ainsi un cylindre de charbon fendillé et peu solide.

Pour souder ce cylindre il imagina de le tremper dans un sirop de sucre qui remplissait les crevasses et de le recuire de nouveau ; le sucre ainsi distillé bouchait les pores et laissait un charbon bien pur et compacte. S'il restait des trous pendant la cuisson, on recommençait l'opération, et ainsi de suite autant de fois qu'il était nécessaire pour avoir un charbon sans défauts.

En 1846, *Staite* et *Edwards* prirent un brevet pour un procédé de fabrication analogue, mais en spécifiant l'emploi de ces charbons pour la production de l'arc voltaïque.

En 1849, *Le Molt* brevetait une composition formée de 2 parties de charbon de cornue, 2 parties de charbon de bois et 1 partie de goudron liquide, le tout bien trituré, malaxé, comprimé, moulé, trempé dans un sirop de sucre, cuit pendant vingt ou trente heures et purifié par des immersions dans des acides.

En 1852, *Watson* et *Slater* préparaient un charbon provenant de *brindilles* purifiées à la chaux, recuites, trempées dans une solution d'alun, recuites de nouveau, trempées dans une solution de mélasse et recuites une troisième fois.

En 1857, *Lacassagne* et *Thiers* taillaient des baguettes dans les parois intérieures des cornues à gaz, les trempaient dans un bain de potasse ou de soude caustique fondue par la voie ignée pour transformer la silice en silicate soluble. En lavant ensuite les baguettes à l'eau bouillante et en les soumettant à la température rouge, à un courant de chlore, on transformait des terres

Digitized by Google

non attaquées par la potasse ou la soude en chlorures volatils de silicium, de potassium, de fer, etc. La lumière obtenue avec ces charbons était un peu plus régulière, mais ils produisaient beaucoup de cendres et de flammèches.

M. *Jacquelain*, en employant des produits très purs et en formant ses charbons avec le goudron provenant déjà d'une première distillation, a obtenu des plaques qui, débitées en baguettes, ont donné une lumière tranquille, blanche et de 25 pour 100 plus intense, à courant égal, que celle des charbons ordinaires.

En 1877, M. *Archereau* a fait d'excellents charbons composés de carbone aggloméré et comprimé, mêlé à de la magnésie.

M. *Carré* fabrique aujourd'hui, sur une grande échelle, des charbons à lumière dans lesquels il incorpore des sels métalliques qui donnent, suivant leur nature, plus de fixité ou une plus belle coloration. La fabrication est devenue meilleure et plus rapide par l'emploi de la filière, indiqué par Archereau dès 1855.

On agglomère un mélange de poudre de charbon bien pur, coke et noir de fumée, à l'aide d'un sirop de sucre gommeux; on le triture et on le passe à la filière sous une pression de 100 atmosphères environ; les baguettes ainsi obtenues sont cuites, puis trempées rouges dans le sirop, recuites de nouveau et ainsi de suite un certain nombre de fois. Le charbon ainsi préparé est bon conducteur électrique; il brûle assez lentement sans craquement et sans trop de flammèches.

Le charbon employé par *Gauduin* dans la fabrication de ses charbons, en 1877, provenait de la décomposition en vase clos des brais secs, gras ou liquides, des goudrons, résines, bitumes, etc., susceptible de laisser du carbone suffisamment pur, après leur décomposition par la chaleur. Le moulage se fait à une très haute pression obtenue par l'emploi de la presse hydraulique.

Il résulte d'expériences faites par M. Fontaine que la lumière produite par des charbons de cornue étant de 103 becs, celle produite avec les crayons Archereau valait 120 becs, les crayons Carré fournissaient 180 becs. Les charbons Gauduin donnaient

Digitized by Google

de 200 à 210 becs Carcel pour une même source électrique, tout en s'usant moins vite que les crayons Carré. Aujourd'hui la fabrication de charbon de M. Carré est la plus renommée ; il fournit des baguettes très lisses et très droites de toutes dimensions depuis 1 jusqu'à 20 millimètres de diamètre. On emploie aujourd'hui presque exclusivement des charbons cylindriques dont les dimensions varient avec la nature des éclairages à produire.

Les lampes à incandescence de M. Reynier usent des baguettes de 2 à 3 millimètres ; les lampes Werdermann, les bougies Jamin et Jablochkoff emploient des charbons de 4 à 5 millimètres.

Les régulateurs alimentés par les machines Gramme type d'atelier et autres machines de puissance semblable se servent de charbons de 7 à 10 millimètres ; enfin les puissants régulateurs des phares et de la marine emploient des charbons dont le diamètre atteint quelquefois 20 millimètres.

Classification des foyers électriques à arc voltaïque. — Le nombre des appareils permettant de produire l'arc voltaïque et de régler avec plus ou moins d'exactitude l'écartement des charbons et la fixité de l'arc est si considérable qu'il est impossible d'établir une classification exacte et complète. On peut cependant les grouper tout d'abord en deux grandes classes qui se distinguent par la position relative des charbons.

1° *Les régulateurs électriques.*

2° *Les bougies électriques.*

On nomme *régulateur* ou *lampe électrique* tout appareil permettant de produire automatiquement l'arc entre deux tiges de charbon placées *bout à bout*, et de maintenir la distance convenable entre ces charbons lorsque l'arc est produit.

On réserve le nom de *bougies* aux foyers dans lesquels les charbons sont placés *parallèlement* l'un à l'autre. Elles se distinguent aussi des régulateurs par l'absence complète de mécanisme ou par un mécanisme rudimentaire dont la simplicité constitue, dans la pratique, un mérite dont nous apprécierons plus tard l'importance.

Digitized by Google

CHAPITRE I

LES RÉGULATEURS

Régulateurs à main. — Jusqu'en 1844, la lumière produite par l'arc voltaïque ne reçut aucune application pratique ; elle constituait jusqu'à ce moment une intéressante expérience répétée dans les cours de physique et pas autre chose, car on ne disposait ni de piles puissantes ni de charbons appropriés. En 1844, *Léon Foucault* employa la pile Bunsen, qui venait de naître, et remplaça les baguettes de charbon de bois, employées depuis *Davy*, par des baguettes prises dans le charbon de cornues à gaz. Il construisit alors une lampe très simple, manœuvrée à la main et put obtenir des épreuves photographiques, en même temps que M. *Deleuil* faisait des expériences publiques, par le même procédé, sur la place de la Concorde, à Paris.

Il va sans dire que le procédé de réglage à la main est aussi barbare que primitif et il est aujourd'hui presque complètement abandonné. Nous disons presque, car nous nous souvenons d'avoir vu, en 1875, à la foire aux pains d'épice de la place du Trône, une lumière électrique produite par ce procédé, mais le pitre chargé de sa surveillance était si maladroit que les extinctions et les rallumages se produisaient à chaque instant, pour la plus grande gêne des spectateurs. Aujourd'hui, le progrès a marché, et les baraques de saltimbanques ne veulent plus que de la bougie Jablochkoff... et encore !

Digitized by Google

Régulateurs à électrodes circulaires. — Il est à remarquer que les premiers appareils réellement *automatiques* étaient à *charbons circulaires;* comme aujourd'hui on ne les emploie plus, nous n'en dirons que quelques mots.

Le plus ancien date de 1845 et est dû à *Thomas Wright*, de Londres, qui eut l'idée de faire jaillir l'arc entre des disques taillés en biseau sur leur circonférence et mis en mouvement par un mécanisme spécial.

En 1849, un physicien français, M. *Le Molt*, fit breveter un appareil analogue pouvant fonctionner vingt ou trente heures sans toucher à la lampe.

En 1857, M. *Harrison* combina aussi un régulateur automatique à arc voltaïque dans lequel il y avait une seule électrode circulaire placée à la partie inférieure et reliée au pôle négatif de la source électrique; l'électrode positive était constituée par un crayon de charbon fixé à un tube métallique taraudé, dont un mouvement d'horlogerie permettait de produire l'avancement au fur et à mesure de l'usure des charbons (1).

En 1877, M. *Reynier* a repris le problème des lampes à double disque et a réalisé un appareil dans lequel les disques de charbon sont portés par deux systèmes de leviers articulés, isolés l'un de l'autre et mis en mouvement par deux mécanismes d'horlogerie indépendants. L'écartement est réglé par l'action d'un solénoïde et les disques tournent lentement sous l'action des mouvements d'horlogerie pour présenter successivement tous les points de leurs circonférences au foyer lumineux. Ce régulateur a été essayé à la gare du Nord et chez M. Bréguet, où il a donné de bons résultats, mais on peut lui reprocher sa complication. D'autre part, les disques de charbon portent de grandes ombres qui en ont fait rejeter l'emploi dans les régulateurs, et aujourd'hui on emploie presque exclusivement les charbons sous forme de baguettes carrées ou rondes.

Régulateurs à charbons obliques. — Le premier fut

(1) Voir l'*Éclairage à l'électricité* de H. Fontaine. 2e édition.

Digitized by Google

imaginé en 1846 par M. *William Edwards Staite;* les deux charbons descendaient dans deux gaines directrices sous l'action de ressorts, au fur et à mesure de leur usure, et venaient buter contre une substance réfractaire non conductrice. On faisait varier la longueur de l'arc voltaïque en déplaçant l'un des charbons.

En 1875, M. *Reynier* fit aussi un régulateur à crayons obliques, dont le rapprochement était basé sur la diminution de poids éprouvée par l'électrode positive par sa combustion, mais il n'y fut pas donné suite.

Lampe Rapieff. — La lampe de M. Rapieff, imaginée en 1878, se compose de quatre charbons disposés deux à deux pour chaque pôle.

Le pôle supérieur est constitué par deux charbons de 6 millimètres de diamètre glissant entre des galets qui les guident en établissant un parfait contact électrique. Ces deux charbons forment une sorte de V dont la longueur diminue avec la combustion, mais dont le point de rencontre est fixe. Une combinaison très simple de ficelles dont on voit la disposition sur la figure 54 transmet l'action d'un poids à ces charbons et les sollicite à descendre; la rencontre des pointes détermine l'arrêt et fixe le point lumineux.

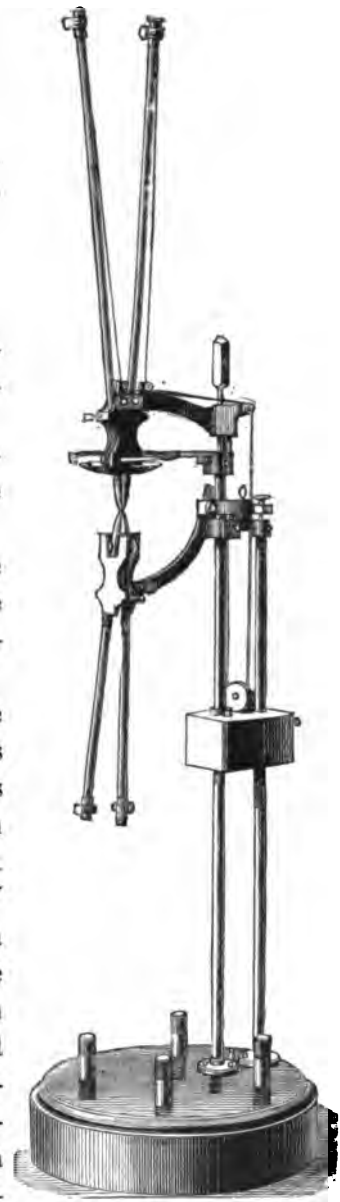


Fig. 54. — Lampe électrique de M. Rapieff.

Digitized by Google

Le pôle inférieur forme un V renversé disposé dans un plan perpendiculaire au plan des deux charbons du pôle supérieur. On retrouve la même disposition de galets et de ficelles qui sollicitent les charbons à remonter et à constituer par leur rencontre un second point fixe par rapport à leur support. Ce support articulé au point O permet de produire un écart convenable des charbons au moment où le courant passe. Pour obtenir ce résultat, M. Rapieff dispose dans le socle un électro-aimant plat à deux branches dont l'une est fixe et l'autre articulée à l'une de ses extrémités. Au moment où le courant passe, les pôles de noms contraires s'attirent, et le déplacement de la branche inférieure mobile de l'électro-aimant réagit sur une tige placée dans un des montants verticaux de l'appareil et exerce une *traction* sur le support des charbons inférieurs articulé en O ; il en résulte l'écartement des charbons primitivement au contact et, par suite, la formation d'un arc voltaïque dont on règle la longueur en contrebalançant l'action de l'électro-aimant par un ressort en spirale convenablement tendu à l'aide d'une vis de réglage (fig. 55). Par cette disposition très simple, on obtient une lampe électrique dont le point lumineux reste toujours fixe dans l'espace, dont la longueur des charbons est illimitée, et dans lequel la résistance que ces charbons introduisent dans le circuit est très faible et indépendante de leur longueur. Dans une autre disposition, M. Rapieff remplace les deux charbons du pôle supérieur par un seul charbon, mais plus gros. Dans cette *lampe à trois charbons*,

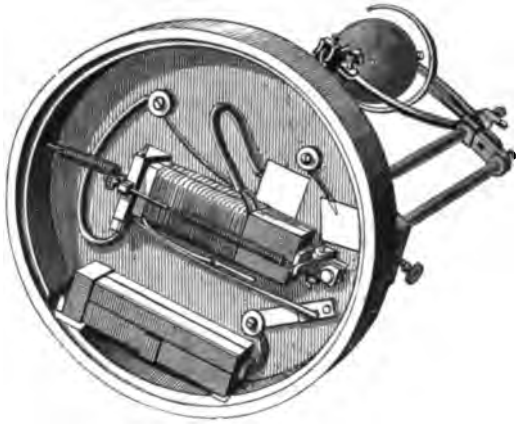


Fig. 55. — Lampe Rapieff (socle de l'appareil).

Digitized by Google

le rôle de l'électro-aimant est renversé, il ne sert plus qu'à produire un rapprochement des charbons pour l'allumage; lorsque la lampe est allumée, cet électro-aimant devient inactif, l'arc a alors une longueur *constante*, réglée à l'avance et qui dépend seulement du nombre d'appareils introduits dans le circuit.

Chaque lampe est munie d'un ingénieux appareil auquel M. Rapieff a donné le nom de *savety-apparatus* et qui a pour but de rétablir le circuit directement entre les bornes de la lampe si, pour une cause quelconque, la rupture accidentelle d'un charbon, par exemple, cette lampe est mise hors d'usage. Le système Rapieff est appliqué, à Londres, pour l'éclairage de la grande salle des presses du journal *the Times*. Une machine Gramme à courants alternatifs (type de 16 bougies), dont on n'utilise jusqu'ici que deux des quatre circuits, envoie le courant qu'elle engendre dans deux séries de trois lampes chacune. Ces lampes éclairent brillamment une surface de 400 mètres carrés environ malgré les globes opalins dont on les a garnies.

Les lampes de M. Rapieff s'emploient toujours avec des courants *alternatifs;* elles permettent, dans une certaine mesure, la division de la lumière puisqu'on peut en disposer jusqu'à quatre *en tension*, sur un seul circuit.

Lampe Gérard. — En 1879, M. Anatole Gérard, ingénieur à Paris, a combiné une lampe analogue à la lampe Rapieff mais qui s'en distingue par le mode de rallumage employé. Les quatre charbons, disposés par groupes de deux, sont placés *au-dessus* du point lumineux, et descendent par leur propre poids sans l'intermédiaire de ficelles. Un électro-aimant à fil très fin monté *en dérivation* sur le circuit de la lampe produit le rapprochement des charbons nécessaire à l'allumage, car au moment où on envoie le courant dans tout l'appareil, les charbons sont séparés, le courant passe tout entier dans l'électro-aimant ; mais une fois l'allumage produit, l'électro-aimant devient inactif, car il ne reçoit qu'une portion très faible du courant.

M. Gérard emploie des machines à courants alternatifs pour

Digitized by Google

ses régulateurs. La machine à huit bobines de M. Siemens peut faire fonctionner quatre lampes donnant environ cinquante becs Carcel chacune.

RÉGULATEURS FONDÉS SUR L'ACTION DES SOLÉNOIDES.

Ce sont les premiers régulateurs automatiques qui ont été construits. Le plus ancien date de 1848 et est dû à *Archereau*, dont l'appareil primitif a servi de base à de nombreuses combinaisons.

Régulateur Archereau. — Dans l'appareil d'Archereau, le charbon positif supérieur est fixe, le charbon négatif inférieur repose sur un cylindre, moitié en fer, moitié en cuivre, placé dans un solénoïde que traverse le courant, il est équilibré par un contrepoids. L'action du solénoïde produit et maintient l'écart entre les deux charbons en exerçant une attraction magnétique sur la tige de fer qui termine le charbon négatif, à la condition que les rapports entre la puissance du solénoïde, le poids de la tige et l'intensité du courant soient bien établis.

Le régulateur Archereau est aujourd'hui abandonné parce que le point lumineux n'était pas fixe dans l'espace et que, d'autre part, il était assez difficile de régler l'action du solénoïde de manière à ne pas causer la rupture de l'arc.

Régulateur Jaspar. — Dans cet appareil le rapprochement des charbons tend à se produire par le poids du charbon positif et leur écart par l'action d'un solénoïde, comme dans le système Archereau. Pour éviter les mouvements brusques, et donner au charbon négatif un bon contact, il porte une tige latérale plongeant dans du mercure. Un contre-poids à action variable permet de régler l'appareil suivant l'intensité du courant qui le traverse. Un autre contre-poids mobile règle à chaque instant l'action du poids mobile et conserve à l'arc la même longueur pendant toute la durée des crayons.

Ce régulateur, d'une construction très simple, est employé chez MM. Sautter et Lemonnier à Paris, à la gare du Nord à Bruxelles et

Digitized by Google

a valu à son inventeur une médaille d'or à l'exposition universelle de 1878 (1).

Régulateur de M. Gaiffe. — Dans le régulateur de M. Gaiffe, l'action du solénoïde se produit d'une façon un peu différente des régulateurs précédents. Les porte-charbons H, H, sont parfaitement équilibrés quant à leur poids, qui n'entre pour rien dans le fonctionnement de l'appareil (fig. 56); leur glissement est rendu très facile au moyen de quadruples systèmes de galets U qui empêchent toute espèce de frottement direct. L'avancement des charbons est produit par la détente d'un ressort contenu dans le barillet O, et par l'intermédiaire de deux roues inégales de diamètre M, M', et de deux tiges à crémaillère K et I, solidaires des porte-charbons H, H. Dans son mouvement, la tige de fer doux, sur laquelle est fixé le porte-charbon H', pénètre plus ou

(1) Voir l'*Éclairage à l'électricité*, de H. Fontaine.

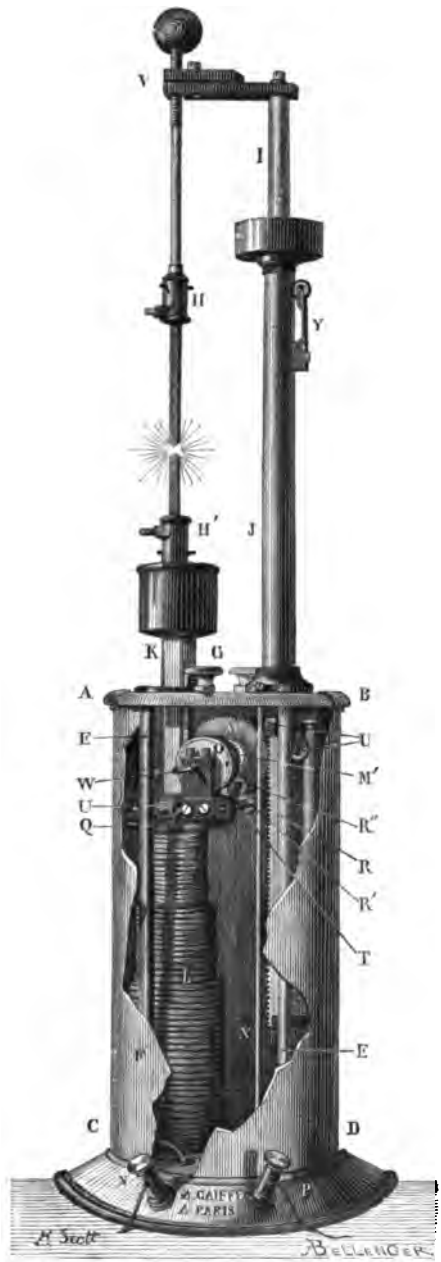


Fig. 56. — Régulateur de M. Gaiffe.

Digitized by Google

moins dans une bobine L qui porte un fil isolé enroulé en hélice. C'est l'attraction exercée par cette hélice sur la tige de fer doux qui détermine l'écartement des porte-charbons nécessaire à la production du point lumineux.

L'hélice et le ressort du barillet O sont disposés de telle sorte que leurs puissances antagonistes restent dans le même rapport pendant toute la course des porte-charbons; il en résulte que si l'arc voltaïque a 3 millimètres de longueur, par exemple, au moment où on allume le régulateur, il les a encore lorsque les crayons de charbon étant usés, il est près de s'éteindre. Le ressort pouvant être tendu plus ou moins permet d'approprier à des intensités de courants très différentes l'appareil qui fonctionne ainsi très régulièrement avec des batteries variant de 15 à 60 couples Bunsen.

Un petit dispositif spécial permet de déplacer à son gré le point lumineux, sans être obligé d'éteindre et sans aucun réglage ultérieur des porte-charbons ni de l'appareil. Ce dispositif consiste en un système de pignons R, R', R", qui, en temps ordinaire, se trouve repoussé en dehors des roues M, M', mais qui, venant à engrener avec ces roues, par suite d'une légère pression, permet, à l'aide d'une clef, de hausser ou de descendre simultanément les porte-charbons sans changer en rien leur écartement. On peut ainsi centrer facilement le point lumineux, chose indispensable dans les expériences d'optique et dans les projections.

Voici le jeu de l'appareil. Le courant entre par la borne P, suit le chemin X, J, I, V, H, H', K, passe dans la bobine L et sort par la borne N. Quand il ne circule pas, les deux charbons sont maintenus l'un contre l'autre par l'action du ressort du barillet O ; mais aussitôt que le circuit électrique est fermé, la bobine attire la tige K dont le mouvement, combiné avec celui de l'autre tige I, détermine l'écart des charbons et la production de l'arc voltaïque. Il faut toujours que la force attractive de la bobine soit un peu supérieure à l'action du ressort antagoniste, ce que l'on obtient en tendant plus ou moins ce dernier.

Digitized by Google

Régulateur à ressort et à solénoïde de M. E. Reynier. — Il résulte d'expériences nombreuses faites par M. Saint-Loup et par M. Reynier que l'attraction exercée par un solénoïde sur un barreau placé suivant l'axe de ce solénoïde peut être représentée par une courbe telle, qu'en prenant pour abscisses les chemins parcourus par le fer doux, et pour ordonnées les attractions magnétiques, on obtient une courbe qui, partant d'un point situé au-dessus de l'axe des x, monte jusqu'à un maximum correspondant à l'arrivée du bout inférieur du barreau vers le tiers supérieur de la bobine, et redescend à partir de ce maximum pour retomber sur l'axe des abscisses. La partie descendante du diagramme s'écarte d'ailleurs peu de la ligne droite qui joint ses deux extrémités.

Le diagramme d'un ressort à boudin qui se détend en s'allongeant a la même forme; pour avoir un ressort dont le diagramme coïncide avec celui du solénoïde, il suffit qu'en le chargeant d'un poids égal à l'attraction maximum du solénoïde considéré, il se raccourcisse d'une longueur égale au chemin parcouru par le fer doux, entre la position correspondant à ce maximum et celle où cesse l'attraction magnétique.

Un pareil ressort placé sous le fer doux dans le solénoïde et arrêté inférieurement au point voulu pour que les deux diagrammes se superposent, forme avec le barreau un système jouissant des propriétés suivantes :

1° Quand le courant qui magnétise le solénoïde a l'intensité normale, le ressort fait équilibre à l'attraction magnétique qui aspire le fer doux de haut en bas, quelle que soit la position du fer doux *au-dessus* de la région d'attraction maximum.

2° Quand le courant est d'une intensité moindre, le ressort l'emporte sur l'attraction magnétique, et pousse le fer doux de bas en haut, quelle que soit la position de celui-ci.

3° Quand le courant est d'une intensité plus grande, l'attraction l'emporte sur le ressort, et aspire le fer de haut en bas, quelle que soit toujours la position du barreau.

Un solénoïde, un fer doux et un ressort, combinés dans les

Digitized by Google

conditions que nous venons d'indiquer, constituent la partie essentielle de la lampe. Le porte-charbon inférieur est monté sur le fer doux, et suit ses mouvements ; le porte-charbon supérieur, immobile, est attaché au corps du solénoïde au moyen d'une double équerre.

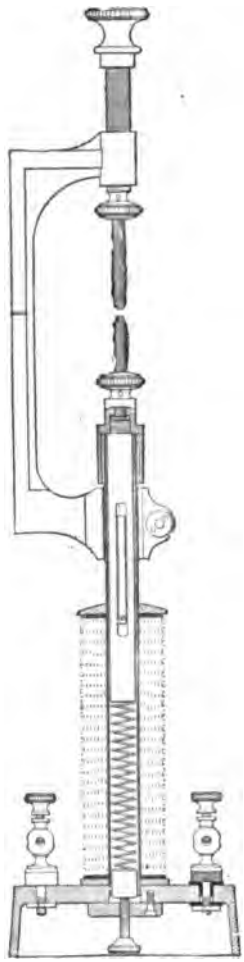


Fig. 57. — Lampe Reynier à arc voltaïque.

La lampe (fig. 57) est représentée au début de sa course, le fer étant alors un peu au-dessus de la position d'attraction magnétique maximum.

Dès que le courant est lancé dans l'appareil, le fer est aspiré de haut en bas dans le solénoïde, et descend jusqu'à ce que l'arc ait sa longueur normale. A mesure que les charbons s'usent, le fer remonte en cheminant de quantités égales à la somme des longueurs de charbon usées, de manière à maintenir constante la longueur de l'arc voltaïque.

Le ressort étant construit pour une intensité donnée du courant électrique normal, si l'on emploie la lampe avec un courant d'une intensité différente, le diagramme du ressort ne coïncidera plus avec la courbe du solénoïde ; il se trouvera au-dessus ou au-dessous. On peut ramener ce diagramme à une coïncidence approximative, en déplaçant son origine. C'est ce qu'on fait en tendant ou détendant le ressort au moyen du bouton vissé dans le pied de l'instrument. Ce réglage ne peut être employé qu'entre des limites assez rapprochées. La lampe fonctionne mal avec des courants d'une intensité très différente de celle pour laquelle le ressort a été construit.

La lampe représentée figure 57 est un modèle de laboratoire

Digitized by Google

spécialement destiné aux projections et à des courants de médiocre intensité. Un modèle plus rustique encore, avec des charbons plus gros, sert de *lampe de secours* avec l'allumeur automatique du même inventeur (voir page 175). Il se met en marche automatiquement dès que le régulateur principal manque de charbon, et fonctionne pendant vingt minutes, ce qui permet de regarnir la première lampe sans interrompre l'éclairage.

Le charbon inférieur progressant seul, le point lumineux s'élève continuellement. Au moyen d'un petit mouvement d'avance qu'on donne de temps en temps au charbon supérieur en tournant la vis qui supporte le porte-charbon, on ramène la lumière à la hauteur convenable. Pendant la remise au point, le porte-charbon inférieur chemine automatiquement, de manière à maintenir constante la longueur de l'arc voltaïque. Moins complet que les régulateurs Duboscq et de Serrin, mais aussi beaucoup moins coûteux, ce petit instrument suffit pour la plupart des expériences d'optique.

MM. *Marcus*, *Brush*, *Dubos*, etc., ont reconstruit ainsi des régulateurs électriques fondés sur l'action des solénoïdes, mais leur examen nous entraînerait trop loin ; on conçoit d'ailleurs que ces mécanismes varient à l'infini.

RÉGULATEURS A RESSORTS MOTEURS.

Le premier de ces régulateurs a été imaginé par *Foucault*, construit et perfectionné ensuite par M. *Duboscq* qui l'emploie dans ses appareils de projection et pour les effets de lumière électrique, dans l'éclairage des scènes de théâtre. Dans l'appareil primitif, il fallait écarter le charbon à la main pour régler la position des charbons et former l'arc voltaïque. Dans l'appareil perfectionné, il y a deux mouvements d'horlogerie distincts, l'un qui sert au rapprochement des charbons et l'autre à leur écartement. Un électro-aimant placé dans le circuit déclanche l'un ou l'autre de ces mécanismes suivant que le courant est plus ou

Digitized by Google

moins intense. On peut élever ou abaisser le point lumineux pendant la marche, — propriété indispensable pour les projections, — en faisant tourner à la main une des roues dentelées d'un barillet de rapprochement ou d'éloignement des charbons. Cet appareil présente l'avantage de pouvoir fonctionner dans toutes les positions, mais il est assez délicat et a besoin d'être réglé pour chaque application spéciale.

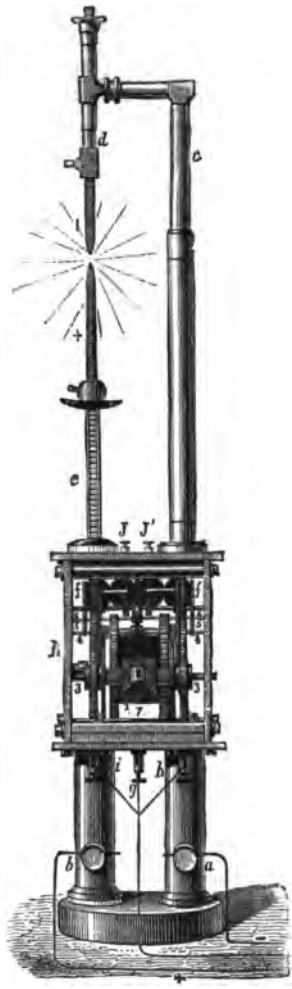


Fig. 58. — Lampe électrique de M. Girouard.

Lampe électrique de M. Girouard à régulateur indépendant. — Nous ne pouvons mieux faire, pour décrire cet appareil, que de reproduire la note de l'inventeur présentée par M. du Moncel à l'Académie des sciences, le 24 janvier 1876.

« Ce nouveau système de lampe électrique a pour organe un relais, qui peut être placé à telle distance que l'on veut de l'appareil où se produit le point lumineux et que l'on peut rendre aussi sensible qu'il convient. Ce système comporte donc deux appareils que nous représentons (fig. 58 et 59) et qui sont reliés par deux circuits différents, donnant passage à deux courants distincts : l'un très fort, qui détermine l'arc voltaïque, après avoir passé à travers l'électro-aimant du relais régulateur ; l'autre assez faible, qui n'a à produire que des déclanchements de mouvement d'horlogerie pour l'avancement et le recul des charbons de la lampe.

« Le relais régulateur se compose essentiellement d'un électro-

Digitized by Google

aimant à gros fil *b*, dont l'armature *n*, adaptée à un levier basculant sollicité par deux ressorts antagonistes *o* et *o'*, peut occuper une position déterminée et placer par conséquent un ressort de contact que porte le levier entre deux vis de contact *p* et *q*, en rapport avec les systèmes électro-magnétiques commandant la marche des charbons de la lampe. La tension des ressorts *o* et *o'*, étant calculée de manière que, pour une intensité de courant capable de fournir une belle lumière, l'armature en question ne détermine aucun contact sur les vis *p* et *q*, il arrive que, si le courant

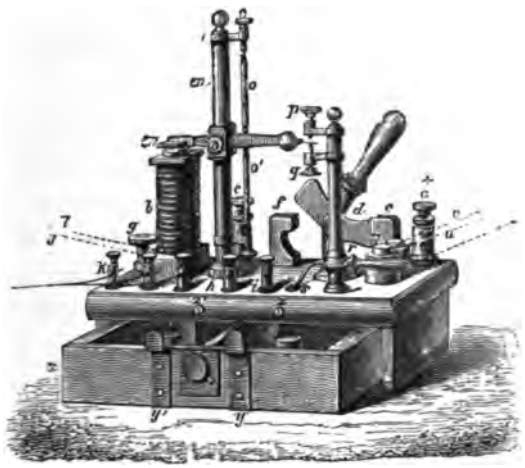


Fig. 59. — Relais de la lampe électrique de M. Girouard.

devient trop fort ou trop faible, le levier basculant appuie sur l'une ou l'autre de ces vis et détermine un déclanchement qui fait avancer ou reculer les charbons de la lampe. Il est clair que si les charbons sont en contact, le courant appelé à fournir la lumière aura une intensité supérieure à celle qui correspond à la position normale de l'armature du relais, et un contact sera établi sur la vis *p*, d'où résultera le recul des charbons ; au contraire, si la distance des charbons devient trop grande, le contact s'effectuera sur la vis *q* et entraînera une fermeture du courant, qui provoquera le rapprochement de ces charbons ; par un ré-

Digitized by Google

glage convenable de deux ressorts *o* et *o'* et un écart plus ou moins grand des vis *q* et *p*, on pourra donc rendre l'appareil aussi sensible qu'on peut le désirer, et cette régularisation pourra s'effectuer à distance, sans qu'on ait besoin de toucher à l'appareil producteur de la lumière.

« Un interrupteur permet d'ailleurs de fermer ou d'interrompre le courant destiné à produire la lumière.

« La lampe se compose, comme les lampes électriques ordinaires, de deux longs crayons de graphite portés par des crémaillères convenablement équilibrées et mises en action sous l'influence de deux mouvements d'horlogerie distincts, bien que commandés par le même barillet. Le dernier mobile de chacun de ces mouvements est embrayé par une détente d'un système électro-magnétique particulier, qui correspond électriquement, l'un à la vis *p*, l'autre à la vis *q* du relais, et les rouages des deux mécanismes sont calculés de manière que, au moment de l'avance ou du recul, le mouvement relatif des charbons s'effectue dans les conditions voulues pour maintenir fixe le point lumineux.

« La disposition de cet appareil, qui permet son fonctionnement dans toutes les positions, le rend apte à un grand nombre d'applications, par exemple aux opérations militaires, à la navigation, aux représentations théâtrales, aux recherches sous-marines et même à la projection des expériences de physique ; car un petit mécanisme, adapté aux deux crémaillères, permet de déplacer verticalement le point lumineux, sans éteindre la lumière, et par conséquent de le bien placer au foyer des lentilles de projection.

« Dans le modèle représenté (fig. 59), la pile destinée à faire fonctionner les électro-aimants de la lampe est renfermée dans le socle du relais. C'est une petite pile portative à sulfate de mercure. »

Régulateur Régnard. — Dans ce régulateur, les charbons sont filetés sur toute leur longueur, ce qui en augmente le prix, et avancent ou reculent par l'action de deux écrous filetés mis en mouvement par un ressort et un débrayage électro-magné-

Digitized by Google

tique analogue, comme principe, à celui du régulateur Foucault-Duboscq.

On peut ainsi mettre de très longs charbons dans la lampe sans augmenter la résistance du circuit, puisque les contacts se font très près de l'arc, mais le filetage des charbons présente de sérieuses difficultés et en augmente considérablement le prix, ce qui rend l'appareil peu pratique.

RÉGULATEURS A PORTE-CHARBON POSITIF MOTEUR

Dans la plupart des nouveaux régulateurs actuellement en usage, on a supprimé les ressorts et les mouvements d'horlogerie, en utilisant le poids de la tige supérieure positive et celui de son support mobile pour produire le mouvement de rapprochement des charbons.

Régulateur de M. Serrin. — Le régulateur que M. Serrin a si bien étudié et perfectionné est celui qui jusqu'à ce jour a reçu le plus grand nombre d'applications pratiques, car il répond presque complètement, et d'une façon relativement simple, à tous les besoins d'un appareil de ce genre.

L'appareil de M. Serrin, en effet, laisse le charbon en contact quand le courant ne circule pas ; après les avoir écartés à la distance voulue, lorsque le courant est établi, il les rapproche graduellement sans les laisser arriver de nouveau en contact. Si l'arc est rompu pour une cause quelconque, telle qu'un violent coup de vent ou la rupture d'un charbon, l'appareil les ramène de nouveau au contact, puis les éloigne à la distance nécessaire pour que l'arc voltaïque se produise avec son plus vif éclat.

Pour réaliser toutes ces conditions, le porte-charbon positif (fig. 60) constitue une crémaillère agissant sur une série d'engrenages à multiplication de vitesses, dont le dernier correspond à une roue portant un certain nombre de longues dents en forme d'étoile.

Lorsque le courant ne traverse pas l'appareil et que les char-

Digitized by Google

bons sont séparés, le défilement des engrenages a lieu jusqu'à ce que les deux charbons se touchent. A ce moment, l'électro-aimant devient actif et, en attirant son armature, fait descendre un parallélogramme articulé auquel il est fixé ; ce parallélogramme embraye la roue à dents, arrête par suite la descente du charbon positif supérieur et fait descendre le charbon négatif inférieur relié à ce parallélogramme. Si l'arc s'allonge, l'intensité du courant s'affaiblit, le parallélogramme remonte sous l'action des deux ressorts qui le supportent et produit le déclanchement de la roue étoilée, ce qui permet au charbon supérieur de descendre d'une certaine quantité jusqu'à ce que, l'arc suffisamment raccourci et l'intensité ramenée à sa valeur normale, il y ait un nouvel arrêt et par suite un nouvel état d'équilibre. Si, au contraire, les charbons sont trop rapprochés, l'intensité du courant augmente et le parallélogramme, attiré plus fortement par l'électro-aimant, descend davantage et

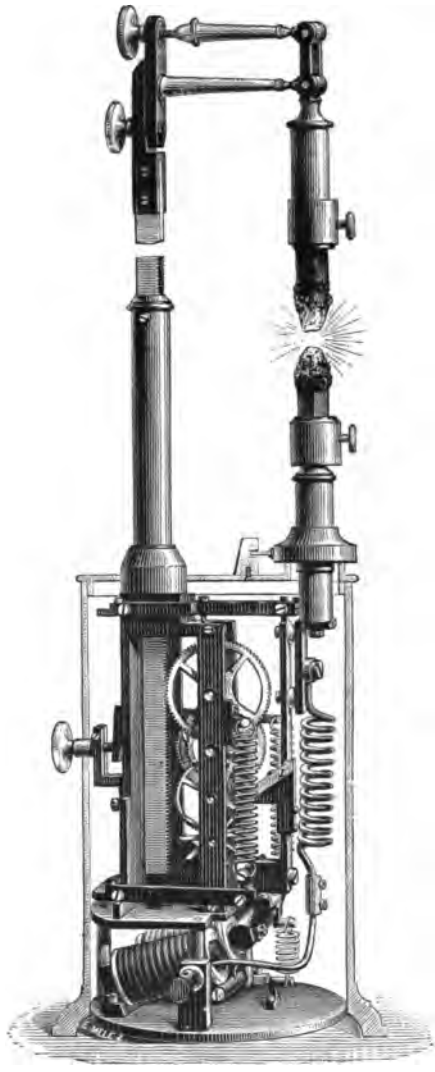


Fig. 60. — Régulateur de M. Serrin. Modèle de M. Suisse.

Digitized by Google

produit un plus grand allongement de l'arc voltaïque. On voit sur la gauche de la figure un bouton qui sert à tendre ou à détendre le ressort antagoniste faisant équilibre à l'action de l'électro-aimant.

Dans ce modèle, construit par M. Suisse, le point lumineux se déplace et descend au fur et à mesure de la combustion des charbons. Dans un modèle plus complet, le point lumineux reste fixé dans l'espace, car le charbon positif descend et le charbon négatif monte en même temps dans un rapport calculé à l'avance et très voisin de 2.

Les régulateurs Serrin sont employés le plus souvent avec les machines Gramme du type d'atelier (page 64). La sensibilité extrême du régulateur Serrin constitue, dans ces conditions, un inconvénient que nous devons signaler. Lorsque les charbons renferment des impuretés il se produit des variations dans la puissance de l'électro-aimant, ce qui fait osciller le porte-charbon inférieur. Ces oscillations augmentent ou diminuent l'intensité de l'arc voltaïque et par suite sa résistance.

Mais comme le courant produit par les machines dynamo-électriques varie beaucoup avec la résistance du circuit extérieur, — représentée ici par l'arc voltaïque, — il en résulte, par ce fait seul, des variations d'intensité qui multiplient la valeur des oscillations premières et rendent la lumière très instable.

Ici le régulateur Serrin pèche par excès de qualités.

On remarque même, à ce sujet, que si les conducteurs ont une résistance un peu grande, les lampes, tout en fournissant moins de lumière, à cause de l'affaiblissement du courant par la résistance du circuit, fonctionnent cependant avec plus de régularité. Cela tient à ce que les variations de résistance de l'arc, tout en conservant la même valeur absolue, ont une moins grande influence sur la résistance totale du circuit. Avec un bon générateur et des charbons bien purs, ces défauts sont évités. A ce point de vue, le montage Wheatstone (page 56), appliqué aux machines dynamo-électriques, constitue un grand progrès dont les générateurs électriques de M. Gramme seront, nous l'espérons.

Digitized by Google

bientôt munis, car dans les machines ainsi disposées, les variations des éléments électriques avec la résistance du circuit extérieur sont *favorables* à la régularité du fonctionnement des régulateurs, au lieu de leur être contraires.

Fig. 61. — Régulateur Hefner-Alteneck à courants continus.

Régulateur Siemens et Hefner-Alteneck. — Ce régulateur à poids moteur a été combiné pour fonctionner avec les machines Siemens e Hefner-Alteneck, que nous avons décrites page 68.

Dans ce régulateur à courant continu, le mouvement d'approche des charbons est produit par le poids du porte-charbon positif, qui sert de moteur. Le mouvement d'écartement, au contraire, se produit par un appareil qui n'est autre chose qu'un petit moteur électrique, dont nous allons examiner maintenant le fonctionnement.

Les organes principaux du régulateur Siemens sont : les deux porte-charbons A et B, un mouvement d'horlogerie actionné par le poids du porte-charbon A et dont le dernier mobile est une roue à rochet dont la vitesse de rotation est modérée par une roue à ailettes I.

Digitized by Google

Le courant de la machine arrive par la borne C, traverse un électro-aimant E, dont on n'a représenté qu'un des noyaux, arrive par le corps de la lampe au porte-charbon positif A, traverse l'arc et revient à la machine par le porte-charbon B, placé dans une garniture isolée, et la borne Z reliée au pôle négatif.

Au moment où l'on envoie le courant dans la lampe, les charbons sont en contact, le courant est très intense ; il attire son armature cylindrique, fixée à un grand levier vertical pivotant autour de Y. Ce levier bascule de droite à gauche autour de Y, et un cliquet Q, fixé à son extrémité, fait tourner la roue I d'une dent en sens inverse du mouvement du charbon, mais à ce moment il se produit un contact en X ; le courant traverse alors directement la dérivation de faible résistance produite par ce contact, et l'électro-aimant devient inerte. Sous l'action du ressort P, réglé par la vis R, le levier reprend sa position première ; mais alors le contact en X est rompu, l'aimant est actionné de nouveau : il attire son armature, et la roue I tourne de nouveau d'une dent dans le sens favorable à l'écartement des charbons. Il se produit donc ainsi une succession rapide de mouvements, comme dans le tremblement des sonneries électriques, qui ont pour effet d'écarter les charbons très rapidement jusqu'à une distance normale, pour laquelle l'appareil est réglé. Lorsque cette distance est atteinte, le cliquet Q produit l'embrayage et maintient l'écartement. Le levier est alors près du contact X, et si l'appareil est bien réglé, on sent en mettant le doigt en N une sorte de *frémissement*, qui est l'indice le plus certain de ce bon réglage. Si l'arc s'allonge, l'armature tend à s'éloigner de E et produit le déclanchement de la roue I, ce qui permet le rapprochement des charbons. On dispose dans cet appareil de trois moyens de réglage :

1° La tension du ressort P ;

2° La distance de l'armature à l'électro-aimant E, distance que l'on règle à l'aide d'une vis K ;

3° Le contact X, réglé une fois pour toutes par le conducteur d'après la course du levier et la longueur des dents du rochet.

Digitized by Google

En pratique, en agissant sur le ressort P, à l'aide de la vis R, on peut obtenir un bon fonctionnement de l'appareil, auquel on pourrait peut-être reprocher une certaine délicatesse dans les organes et le bruit produit par les mouvements du levier.

Quoi qu'il en soit, cet appareil est fréquemment employé en Angleterre et en Allemagne, au même titre que le régulateur Serrin en France.

Régulateur de M. Carré. — Dans les régulateurs de M. Carré, appliqués plus spécialement aux courants *alternatifs*, le poids du charbon supérieur sert aussi de moteur comme dans les appareils de M. Serrin, mais l'action du courant s'exerce sur des solénoïdes dans lesquels pénètrent des tiges de fer doux reliées au mouvement d'écartement des charbons et de déclanchement.

Régulateur Hiram-Maxim. — Le régulateur de M. Maxim est caractérisé par ce fait que les charbons se rapprochent très vite si le courant ne les traverse pas, comme au moment de l'allumage par exemple, et très lentement quand l'arc est formé. (Voir l'*Éclairage à l'électricité* de M. Fontaine.) On évite ainsi tout rapprochement brusque des électrodes et l'on obtient une lumière d'une grande fixité.

Régulateur Bürgin. — Dans cet appareil, l'écartement des charbons se produit par l'action d'un parallélogramme articulé portant le charbon inférieur, et l'arrêt par un petit sabot formant frein sur une poulie de grand diamètre qui vient s'y appuyer pour produire l'embrayage lorsque l'arc a atteint sa longueur normale. Si l'arc s'allonge, l'intensité du courant diminue et l'électro-aimant devenant moins puissant, le frein est desserré et le rapprochement des charbons peut se produire. L'appareil est si sensible que lorsque la machine Gramme qui l'alimente est mise en action par un moteur à gaz à explosion, comme le moteur Otto par exemple, le mouvement de l'armature du régulateur trahit toutes les variations de vitesse, en même temps que l'intensité de la lumière augmente ou diminue. Il se produit une sorte de respiration de l'arc traduite d'une façon très marquée

Digitized by Google

par les variations d'intensité lumineuse, et dont nous retrouverons des exemples encore plus frappants dans l'éclairage par incandescence.

Régulateur Dornfeld. — M. Dornfeld, électricien aux aciéries de M. F. Krupp à Essen, a combiné un régulateur analogue à celui de M. Bürgin, mais dans lequel la descente du charbon positif est ralentie par un volant à ailettes tournant dans un bain de mercure ; le sabot du frein fonctionne à l'aide d'un solénoïde qui sert à la fois à l'embrayage, au débrayage et au recul des charbons.

RÉGULATEURS A DIVISION.

Tous les régulateurs électriques que nous avons examinés jusqu'ici sont *monophotes*, c'est-à-dire qu'ils ne permettent pas de placer deux appareils dans le même circuit (1), quelle que soit d'ailleurs la nature de la source électrique, piles, machines à courants continus ou machines à courants alternatifs.

On s'explique facilement que, dans tous ces régulateurs, il en soit ainsi, car la manœuvre du charbon s'opère par un électro-aimant qui obéit aux variations d'intensité du courant produites par l'allongement ou le raccourcissement de l'arc voltaïque. Si nous plaçons deux appareils dans le même circuit, il suffit que l'un des deux arcs s'allonge pour que les deux électro-aimants agissent et raccourcissent à la fois les deux arcs voltaïques ; dès lors la seconde lampe est dérangée, alors qu'il suffisait de corriger seulement les écarts de la première. Dans d'autres cas, un arc pourra être très long et l'autre très court sans que pour cela l'équilibre cesse d'exister, puisque l'intensité du courant sera la même que si les deux arcs avaient la longueur moyenne qui convient à leur bon fonctionnement. La solidarité des deux régulateurs entraîne donc dans chacun d'eux des changements

(1) Il faut faire une réserve pour les appareils de MM. Rapieff et A. Gérard qui sont des appareils à arc de longueur fixe, ce qui permet d'en placer plusieurs sur un seul circuit si la tension du courant est assez grande.

Digitized by Google

qui aboutissent en fin de compte à un déréglage continuel.

On a imaginé depuis quelques années une série d'appareils qui rendent les régulateurs montés en tension sur un même circuit absolument indépendants les uns des autres et permettent de résoudre dans une certaine mesure le problème aujourd'hui à l'ordre du jour : *la division de la lumière électrique*. Tous les régulateurs employés dans ce but sont fondés sur les lois des courants dérivés. L'idée d'appliquer le principe des dérivations aux régulateurs électriques est revendiquée à la fois par un français, M. *Lontin*, un russe, M. *Tchikoleff*, et un allemand, M. *Werner-Siemens* (ou plutôt M. *Hefner-Alteneck*, ingénieur des ateliers Siemens à Berlin).

Régulateur Lacassagne et Thiers. — Pour couper court à ces revendications, nous pouvons dire que dans le régulateur à écoulement de mercure de *Lacassagne* et *Thiers*, breveté en 1855, on trouve déjà une bobine de dérivation dont le rôle était de raccourcir l'arc voltaïque lorsque les charbons étaient trop éloignés en laissant écouler du mercure qui, en soulevant le porte-charbon inférieur, raccourcissait l'arc. Dans cet appareil, on retrouve même, outre le principe des dérivations, le principe de l'*action différentielle* comme dans les appareils de MM. Tchikoleff et Siemens, mais en réalité il n'a jamais fonctionné comme appareil à division.

Ce point historique vidé, examinons les particularités que présente chacun des systèmes que nous venons de nommer.

Lampe Tchikoleff. — En réfléchissant aux inconvénients que nous venons de signaler relativement aux régulateurs électriques montés en tension sur le même circuit, M. Tchikoleff a été amené, dès 1869, à appliquer aux régulateurs l'action différentielle des courants dérivés.

Le premier appareil de M. Tchikoleff fut un régulateur Foucault dans lequel le ressort antagoniste était remplacé par un électro-aimant dans lequel ne passait qu'une très faible dérivation du courant, à cause de la très grande résistance électrique du fil fin qui le composait.

Digitized by Google

Les armatures des deux électro-aimants étaient placées aux deux extrémités d'une bascule portant un levier de déclanchement des mécanismes de rapprochement ou d'éloignement des charbons.

Il y avait équilibre lorsque la résistance de l'arc était normale.

Si l'arc s'allongeait, sa résistance augmentait, l'action de la bobine à fil fin devenait prépondérante et, en faisant basculer l'armature, déclanchait le mouvement de rapprochement des charbons. L'effet inverse déclanchait au contraire le mouvement d'écartement. Un autre modèle se compose d'un anneau de Gramme placé entre deux électro-aimants diamétralement opposés dont l'un d'eux, à gros fil, est traversé par le courant direct et l'autre, à fil très fin, par un courant dérivé, l'anneau peut tourner dans un sens ou dans l'autre, suivant que l'un des électro-aimants a une action prédominante. On peut utiliser ce double mouvement de rotation pour produire l'écart ou le rapprochement des charbons, avec cet avantage que les mouvements sont d'autant plus rapides que l'appareil est plus éloigné de sa position d'équilibre.

La *Lumière électrique* du 1er mai 1880 a reproduit deux de ces lampes dont quelques-unes sont en usage dans l'artillerie russe depuis 1877.

Les appareils de M. Tchikoleff sont disposés pour des courants continus; ils présentent l'avantage de fonctionner sans mécanisme d'horlogerie, ressorts ou contacts électriques; on n'a pas à faire de réglage préalable avant ni pendant le fonctionnement, et la lumière reste fixe malgré les variations qui peuvent se produire dans l'intensité du courant.

Régulateur de M. Lontin. — Dans l'appareil de M. Lontin, l'on n'utilise pas l'action différentielle du courant, mais bien son action sur un électro-aimant à fil fin monté en dérivation sur l'arc voltaïque. A l'inverse du régulateur Serrin, la palette de l'électro-aimant est disposée pour que la lampe soit toujours embrayée, et le débrayage ne se produit que si l'arc atteint une trop grande longueur, car alors le courant passant dans la dérivation devient plus intense, attire son armature, et débraie

Digitized by Google

le mouvement de rapprochement des charbons. Dans d'autres modèles, l'électro-aimant est remplacé par un solénoïde, ce qui ne change rien au principe, mais empêche les vibrations de l'armature lorsqu'on emploie des courants alternatifs.

L'appareil de M. Lontin a permis de placer sur un circuit unique jusqu'à douze régulateurs en tension. Avec une seule machine Lontin à division, on a pu alimenter jusqu'à trente et un régulateurs fondés sur ce système, et déposés en différents circuits convenablement distribués, grâce au *manipulateur* dont nous avons parlé page 82.

Régulateur de M. de Mersanne. — Ce régulateur a été combiné pour permettre d'obtenir une lumière de seize heures au moins, en employant de très longs charbons, tout en n'intercalant dans le circuit qu'une partie de leur longueur, pour ne pas augmenter inutilement la résistance.

Les charbons sont entraînés par un mouvement d'horlogerie qui sert à la fois à l'écart et au rapprochement des charbons.

Lorsque l'arc tend à s'allonger, il passe une plus grande partie du courant dans un électro-aimant placé en dérivation, l'armature déclanche le mouvement d'horlogerie qui provoque le rapprochement des charbons jusqu'à ce que la résistance de l'arc soit revenue à sa valeur normale.

Le mouvement d'écartement nécessaire pour la formation de l'arc est obtenu par un second électro-aimant établi dans le même circuit de dérivation qui n'agit que lorsque le courant passe tout entier dans cette dérivation, soit par la rupture de l'arc, soit parce que l'arc ne s'est pas formé. Au moment où le courant est envoyé dans l'appareil, tout le courant passe dans les électro-aimants de dérivation, le premier laisse défiler le mouvement d'approche, le second attire son armature et tend à rapprocher l'un des charbons. Lorsque les deux charbons sont en contact, les électro-aimants de dérivation deviennent à peu près inertes, la plus grande partie du courant passant par l'arc ; ils lâchent leurs armatures ; celle du premier arrête le défilement des charbons, celle du second produit l'écart sous l'action d'un

Digitized by Google

ressort antagoniste. Le régulateur de Mersanne est employé avec la machine à division de M. Lontin à l'éclairage de la halle des messageries du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée. Une seule machine alimente dix-huit foyers disposés en six circuits de trois lampes chacun. Malgré la complication des mouvements d'horlogerie et d'engrenages que ce régulateur comporte, le fonctionnement en est très satisfaisant.

Lampe différentielle de M. Siemens. — Cette lampe, imaginée par M. Hefner-Alteneck, permet de disposer jusqu'à dix foyers en tension sur le circuit d'une machine Siemens à courants alternatifs, tout en rendant le fonctionnement de chaque lampe indépendant de celui de toutes les autres.

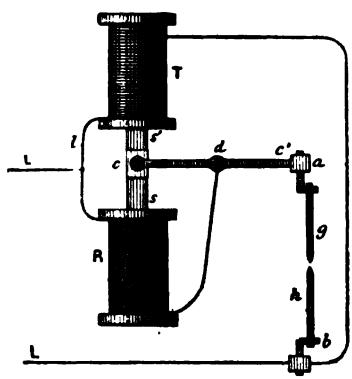


Fig. 62. — Diagramme de la lampe différentielle de M. Siemens.

Cet appareil est encore une application de la loi des courants dérivés et de l'action différentielle qu'ils exercent en fonction de leurs intensités relatives sur deux circuits. Bien que le courant soit en réalité alternatif, nous pouvons le considérer comme continu à un instant donné, pour comprendre le fonctionnement de l'appareil. Le courant arrivant de la machine en L (fig. 62) se divise en deux parties ; une partie du courant traverse une bobine T formée de fil très fin et très résistant, et sort par *b*L′ pour aller à la lampe suivante ; une seconde partie du courant traverse une bobine R à fil gros et court ; en sortant de R il traverse l'arc voltaïque formé entre les charbons *g*, *h* et va par *b*L′ à la lampe suivante.

Le courant est donc partagé en deux fractions très inégales, la plus faible traverse la bobine T qui a une résistance *fixe* et très grande ; la plus grande partie du courant traverse l'arc voltaïque qui constitue une résistance *variable* avec l'écartement des charbons. Plaçons à l'intérieur de chaque bobine une tige de

Digitized by Google

fer doux *ss'*, reliée par un levier *cda* au charbon *ga*, et voyons ce qui va arriver.

Chacune des bobines attire le solénoïde qui lui correspond avec une force proportionnelle à l'intensité et au nombre de tours. On conçoit donc que, pour une certaine résistance convenablement réglée de l'arc voltaïque, les résistances relatives des deux circuits seront telles que les actions des bobines sur les tiges *s*, *s'* soient égales et le levier *cda* prendra une certaine position d'équilibre. Si la résistance de l'arc vient à *augmenter*, cet équilibre sera détruit, l'action de la bobine T deviendra prépondérante, le levier *cda* oscillera autour de *d* et rapprochera les charbons. L'inverse se produirait si la résistance venait à diminuer, car alors la bobine R exerçant une plus grande action sur la tige *a'*, il y aurait écart des charbons. Le régulateur n'agit plus alors par les variations de l'intensité du courant dans le circuit, comme dans la lampe Serrin, par exemple, mais par les variations de résistance de l'arc voltaïque.

Tel est le principe de l'appareil représenté sous la forme pratique fig. 63. L'action prépondérante de la bobine T a pour effet de faire déclancher un petit encliquetage qui permet au charbon supérieur de descendre par son propre poids. Pour que cette descente de charbon se fasse lentement et régulièrement, il y a une sorte de petit balancier de pendule qui ne permet que l'échappement d'une dent par oscillation, et comme on peut arrêter la descente à chaque cinquième d'oscillation de ce petit pendule, il en résulte que les mouvements sont absolument im perceptibles et ne nuisent en rien à la fixité de la lumière.

Pour que les mouvements du solénoïde soient plus doux, et pour qu'il ne vibre pas sous l'action des courants alternatifs, il est relié à une petite pompe à air, et qui a pour effet de rendre ses mouvements *plus gras*. Lorsque l'écart des charbons se produit, le mécanisme est soulevé avec le charbon supérieur, jusqu'à ce que la distance des pointes corresponde à celle pour laquelle l'appareil est réglé. Ce réglage se fait très

Digitized by Google

facilement, sans ressort antagoniste, en élevant plus ou moins la bobine à fil fin pour varier son action.

Le charbon inférieur étant *fixe*, il s'en suit que le point lumi-

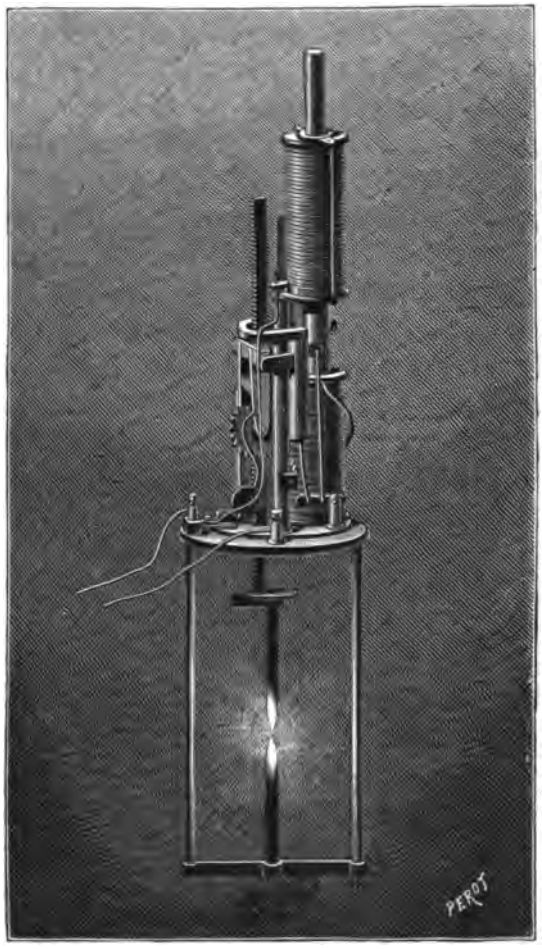


Fig. 63. — Lampe différentielle de M. Siemens.

neux descend au fur et à mesure de l'usure des charbons, mais comme le mécanisme est placé tout entier *au-dessus* du point lumineux, il n'y a point d'ombre portée par le socle de l'appareil, et ce déplacement ne présente pas d'inconvénient dans ces condi-

Digitized by Google

tions, surtout lorsque la lampe est placée un peu haut ; le mécanisme est caché dans une enveloppe cylindrique en cuivre qui le préserve et sert à le suspendre.

On peut éteindre une lampe sans que les autres en soient affectées ; il suffit pour cela d'introduire une *clef* dans le communicateur, ce qui a pour effet d'établir une *communication directe :* en enlevant la clef, la lampe éteinte se rallume aussitôt.

Signalons encore une disposition simple et ingénieuse :

La crémaillère du porte-charbons mobile porte une petite traverse qui, lorsque cette crémaillère est au bout de sa course, vient s'appuyer sur deux petits contacts en platine reliés aux bornes et établit automatiquement une communication directe. Cela a pour but de ne pas laisser s'éteindre toutes les lampes d'un même circuit lorsque les charbons de l'une d'elles sont usés et qu'on a oublié de les remplacer à temps. Une machine à lumière à 16 bobines dépense, avec son excitatrice, une force d'environ dix chevaux et alimente vingt lampes d'une puissance d'environ vingt-cinq becs Carcel chacune.

Avenir des régulateurs à division. — Les appareils dans lesquels la machine ne peut alimenter qu'un seul foyer, comme les régulateurs Serrin, Duboscq, Carré, Siemens (non différentiel), etc., ne sont applicables que dans des cas très restreints : éclairage des phares, des appareils de projection, de grandes usines, et quelques autres cas où les puissants foyers peuvent rendre de grands et utiles services.

Avec les régulateurs à division, au contraire, et les bougies électriques que nous allons examiner tout à l'heure, la même puissance motrice permet d'obtenir de 4 à 10 foyers et même davantage avec une seule machine, foyers d'intensité moindre, mais répartissant mieux la lumière, ce qui constitue une supériorité d'une extrême importance.

Les résultats obtenus par MM. Tchikoleff, Lontin, Siemens et de Mersanne, présentent le plus grand intérêt : nul doute qu'on n'arrive à simplifier encore ces appareils et que ces perfectionnements successifs ajoutés aux perfectionnements simultanés que

Digitized by Google

l'on apporte aux générateurs électriques ne contribuent à augmenter dans une grande mesure le nombre des applications de l'éclairage électrique partout où des foyers d'intensité *moyenne*, — de quinze à quarante becs Carcel, par exemple, — permettront de réunir à la fois un éclairage puissant et une répartition uniforme de la lumière.

Régulateurs divers. — Nous avons dû passer sous silence un grand nombre de régulateurs, quelques-uns très ingénieux dans leur principe, mais que la pratique n'a pas sanctionnés ou qui n'ont pas encore eu le temps de faire leurs preuves.

MM. *Wallace* et *Farmer* ont combiné un appareil à électrodes plates donnant une très longue durée d'éclairage sans renouvellement des charbons, mais présentant le même inconvénient que les régulateurs à disques circulaires aujourd'hui abandonnés.

MM. *Moléra* et *Cébrian* ont construit des régulateurs dans lesquels les transmissions de mouvement sont hydrauliques.

D'autres, comme M. *de Fonvielle*, et bien avant lui M. *J. van Malderen* mettent à profit la répulsion réciproque des électrodes sous l'action du courant qui le traverse, mais alors l'appareil est trop délicat et ne supporte pas le plus petit mouvement, car la répulsion étant très faible, l'équilibre est des plus instables.

Dans le système de M. *Brockie*, les charbons sont fixes, mais à chaque minute, un mécanisme réajuste leur distance qui reste invariable pendant la minute suivante.

Il est peu d'inventions dans lesquelles il ait été dépensé autant d'ingéniosité que dans les régulateurs électriques ; il y a eu pour cela, comme pour bien d'autres choses, beaucoup d'appelés et peu d'élus. C'est aux élus, — et un peu aussi aux éligibles, — que nous avons consacré l'espace dont nous disposions.

Digitized by Google

CHAPITRE II

LES BOUGIES ÉLECTRIQUES

On donne le nom de *bougie électrique* à tout appareil à arc voltaïque dans lequel les charbons sont placés *parallèlement*, au lieu d'être mis bout à bout.

En 1846, *William-Edwards Staite* combina un appareil dans lequel les deux charbons étaient placés obliquement (appareil de transition entre le régulateur et la bougie). En 1874, M. *Werdemann* fit breveter une sorte de bougie électrique destinée à percer le rocher dans les travaux de mine et les tunnels, mais qui n'était pas destinée à produire la lumière électrique.

Mais la véritable bougie électrique, celle qui par l'absence complète de mécanisme et son extrême simplicité a obtenu le succès que l'on sait, est due à un officier de l'armée russe, M. *Jablochkoff*, et date de 1876.

Bougie Jablochkoff. — Voici d'abord un extrait du brevet qui caractérise nettement l'invention de M. Jablochkoff.

« Mon invention consiste dans la suppression absolue de tout « mécanisme ordinairement employé dans les lampes électriques. « Au lieu de réaliser mécaniquement le rapprochement automa- « tique des charbons, au fur et à mesure de leur combustion, je « fixe ces charbons l'un contre l'autre en les séparant par une « substance isolante, susceptible de se consumer en même temps « que lesdits charbons, le kaolin par exemple. Les deux charbons

Digitized by Google

« ainsi préparés peuvent se placer dans un chandelier spécial et « il suffit de les faire traverser par le courant d'une source élec- « trique quelconque, pour qu'un arc voltaïque prenne naissance « d'une extrémité à l'autre ; pour l'allumage, je réunis les deux

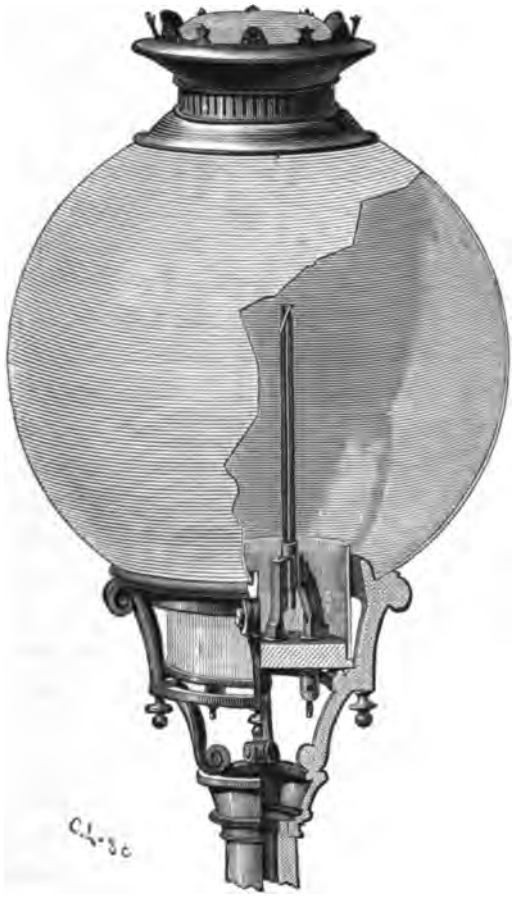


Fig. 64. — Bougie Jablochkoff. (Globes de l'avenue de l'Opéra.)

« extrémités libres par une petite bande de charbon qui rougit « d'abord, et sert d'amorce à l'arc voltaïque. »

Il en résulte que les charbons brûlent côte à côte et s'usent en même temps, comme la mèche d'une bougie stéarique.

Digitized by Google

La matière isolante a pour but de maintenir l'arc à l'extrémité de la bougie, cette matière isolante se volatilisant à mesure de la combustion du charbon.

On sait que, dans l'arc voltaïque, le charbon positif brûle deux fois plus vite que le pôle négatif. M. Jablochkoff a essayé de remédier à cet inconvénient, qui produirait rapidement l'extinction à cause de la dénivellation des pointes, en donnant au crayon positif une section double de celle du crayon négatif, mais la pratique n'a pas encore sanctionné cette méthode : aujourd'hui toutes les bougies Jablochkoff ont leurs deux charbons d'égal diamètre et sont alimentées *exclusivement* par des machines à courants alternatifs.

Fig. 65. — Chandelier à quatre bougies.

La figure 64 représente la bougie Jablochkoff sous sa forme actuelle : les deux crayons parallèles ont un diamètre de 4 millimètres et 22 centimètres de longueur, ce qui assure aux bougies une durée moyenne de une heure et demie. Les charbons sont emmanchés, à leur partie inférieure, dans deux petits tubes de laiton de 5 centimètres de longueur séparés par une matière isolante. Dans l'avenue de l'Opéra, ces bougies sont disposées au nombre de quatre dans un globe diffusant que représente la même gravure (fig. 64), adoucissant la lumière et lui donnant l'aspect d'une grande masse lumineuse, sans que l'œil puisse voir le point précis d'où part la lumière.

Devant la façade du théâtre de l'Opéra, les globes sont en *verre craquelé*, qui est moins diffusant, mais qui absorbe une moins grande quantité de lumière.

Les quatre bougies sont disposées aux quatre angles d'un carré

Digitized by Google

dans des pinces à ressort B, C (fig. 65) dont les branches isolées sont reliées aux conducteurs électriques.

Un commutateur placé à portée de la main et renfermé dans une boîte, à l'abri des indiscrétions des passants, sert à faire passer le courant d'une bougie presque consumée dans une bougie neuve. Lorsque le globe renferme quatre bougies, il suffit de cinq conducteurs dont les quatre premiers sont reliés chacun à une bougie et le cinquième forme le fil de retour commun.

Par un mouvement rapide du commutateur, on passe d'une bougie à l'autre sans que l'interruption momentanée du circuit trouble d'une manière appréciable la lumière des autres bougies du même circuit.

Les deux charbons étant isolés, il est indispensable, pour l'allumage, qu'il y ait une communication préalable pendant quelques instants des deux pointes de la bougie.

Au début, M. Jablochkoff allumait directement sa bougie en appuyant sur les deux extrémités un morceau de charbon qu'il enlevait ensuite lorsque l'arc était formé.

Pour pouvoir allumer à distance, M. Jablochkoff a mis entre les deux charbons un morceau de mine de crayon, maintenue par un petit ruban ou un papier, qui établit un circuit conducteur complet.

Lorsque le courant est envoyé dans la bougie, la petite mine de crayon est chauffée, rougit et se consume ; l'arc voltaïque apparaît alors et se maintient tant que la bougie dure et que le courant électrique est assez puissant. On peut remplacer la mine de crayon par un fil métallique fin ou un morceau de plomb.

A l'hippodrome, M. *Geoffroy* réalise l'amorçage à l'aide d'une pâte de composition spéciale, à base de charbon, qui produit le même effet. Par ce moyen, on peut utiliser les bougies à moitié brûlées en les réamorçant.

M. *Gadot* a essayé de mettre dans la matière isolante différentes substances lui donnant une certaine conductibilité, suffisante pour que le courant passe dans toutes les bougies à la fois : il traverse en plus grande quantité celle d'entre toutes qui est le moins

Digitized by Google

résistante, par suite de différences dans la fabrication, l'échauffe, ce qui augmente la conductibilité jusqu'à produire ainsi l'allumage. Si la bougie se casse ou brûle jusqu'au bout, elle s'éteint et le courant rallume celle des bougies restantes ayant la moins grande résistance, et ainsi de suite. Ce système a l'inconvénient de créer dans les bougies des dérivations nuisibles qui dépensent en pure perte une quantité notable d'électricité.

L'augmentation de conductibilité de l'isolant produite par la chaleur est si grande qu'on peut interrompre le circuit d'une bougie bien allumée pendant près de deux secondes, sans provoquer son extinction ni celle des autres bougies placées dans le même circuit. Au delà d'un certain temps, le refroidissement supprime la conductibilité et le rallumage devient impossible à distance ; la bougie nécessite un réamorçage.

Les bougies Jablochkoff ont reçu un grand nombre d'applications, nous en examinerons quelques-unes chapitre IV. On a fait, à plusieurs reprises, des mesures directes sur le travail dépensé et la puissance lumineuse.

Pour donner une idée de cette puissance, nous citerons quelques chiffres extraits du rapport présenté en mai 1879 au *Metropolitan Board of Works* de Londres, par MM. Bazalgettes et Keates.

La première installation faite sur le quai Victoria comprenait vingt bougies alimentées par une machine de Gramme à courants alternatifs, et disposées en quatre circuits de cinq bougies chacun.

Le travail dépensé par la machine était, en déduisant le travail dépensé par la transmission et la machine fonctionnant en circuit ouvert :

				Travail total brut.		Travail net.	
Pour 5	bougies ou	1	circuit utilisé,	13,57	chevaux, soit	1,57	cheval par bougie
10	—	2	—	17,91	—	1,27	—
15	—	3	—	20,75	—	1,05	—
20	—	4	—	23,53	—	0,92	—

En mesurant le pouvoir lumineux, on a trouvé :

Pour une bougie	à feu nu.....	39,8	becs Carcel.
—	avec verre craquelé..	27,9	—
—	avec globes opalins..	16,3	—

Digitized by Google

Les globes opalins font donc perdre près de 60 p. 100 de

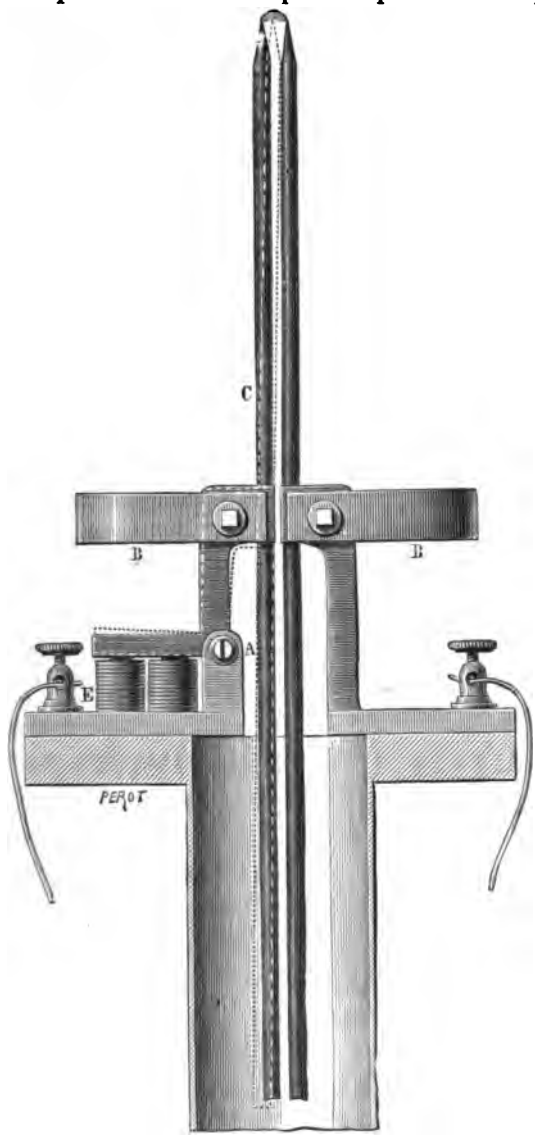


Fig. 66. — Bougie Wilde. (Demi-grandeur.)
C. Charbon mobile. — A. Axe de rotation du support du charbon mobile. — B. Ressorts des galets. E. Electro-aimant.

la lumière émise, et les verres craquelés, environ 30 p. 100.

Digitized by Google

Jusqu'à présent la bougie Jablochkoff est celui de tous les systèmes d'éclairage électrique qui compte le plus grand nombre de foyers lumineux en fonction. Ce nombre dépasse 2,500 et nul doute qu'avec les perfectionnements successifs qui lui sont apportés, l'abaissement très sensible du prix des machines et des bougies, il ne reçoive encore un plus grand développement.

Les seuls reproches qu'on puisse adresser à la bougie Jablochkoff sont ses changements incessants de coloration et d'éclat, et l'impossibilité de produire un rallumage automatique.

En perfectionnant la fabrication, on arrivera à atténuer le premier défaut, mais nous doutons qu'on arrive jamais à le faire complètement disparaître.

Quant au rallumage automatique, M. Makaire a déjà imaginé un appareil très ingénieux destiné à le réaliser, auquel il suffira de quelques légères modifications pour en faire un appareil pratique.

Bougie Wilde. — Nous avons vu que la bougie Jablochkoff emploie une substance isolante placée entre les deux charbons qui la composent. Dans les bougies que nous allons examiner maintenant et qui n'ont reçu, jusqu'ici, qu'un petit nombre d'applications pratiques, la matière isolante fait complètement défaut.

La bougie Wilde (fig. 66) se compose de deux charbons parallèles de quatre millimètres de diamètre séparés par un intervalle *vide* de 3, 5 millimètres environ. Chaque charbon est fixé dans son support à l'aide d'une pince à ressort en acier plat B courbée en forme d'U (fig. 67) ; à l'extrémité du ressort est fixé un galet D qui maintient le charbon en l'appuyant contre le support M, tout en lui permettant de glisser de bas en haut.

Le charbon de droite est fixe, le support du charbon de gauche C est articulé en A ; si le courant ne traverse pas l'appareil, le charbon de gauche prend la position représentée en pointillé, le circuit se trouve donc fermé par l'électro-aimant E, les deux charbons et la borne fixée sur le support de droite. mais alors l'électro-aimant devient actif, il rappelle son armature faisant corps avec le support du charbon C qui bascule et les charbons se

Digitized by Google

placent alors dans une position parallèle. Cette simple disposition réalise parfaitement l'*allumage automatique*.

Si, pour une cause quelconque, la bougie s'éteint, l'électro-aimant redevient inactif, le charbon C reprend sa position inclinée et produit le *rallumage*, automatique si le circuit est complet dans toutes les autres parties du système. La bougie Wildn brûle ainsi comme une bougie Jablochkoff sans isolant, à raison de 10 à 12 centimètres par heure avec une puissance lumineuse variant de 30 à 80 becs Carcel, suivant la puissance du courant qui la traverse.

Les charbons ayant une longueur de 65 centimètres représentent environ cinq heures d'éclairage, le point lumineux est, au moment de l'allumage des charbons neufs, à 20 centimètres en-

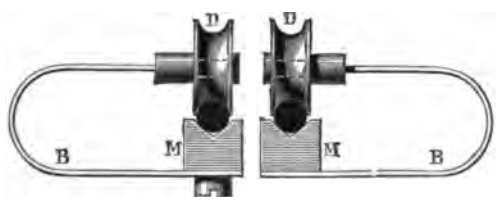


Fig. 67. — Plan des pinces à galets de la bougie Wilde.
M, coins fixes. — D, galets de cuivre. — B, ressorts.

viron des supports. Au bout d'une heure et demie environ, l'arc s'est abaissé en C par l'usure de la bougie, il suffit de venir soulever une petite rondelle placée à l'intérieur du tube à l'aide d'un bouton placé sur le côté, les charbons poussés de bas en haut glissent dans leurs supports, grâce aux galets D (fig. 67), et la bougie se trouve allongée d'une nouvelle quantité. Cette manœuvre se fait très rapidement sans produire l'extinction de la bougie, et ressemble beaucoup à celle des chandeliers de cuisine dont on élève plus ou moins le point lumineux en agissant sur un petit bouton de cuivre placé sur le chandelier.

Pour des longues durées d'éclairage, M. Wilde dispose sur un socle une série de bougies en couronne dont la longueur est calculée pour donner de une heure et demie à deux heures d'é-

Digitized by Google

clairage. En faisant tourner ce socle, soit à la main, soit automatiquement, les bougies viennent se placer successivement dans le circuit. Le point lumineux est alors toujours placé au centre du globe diffuseur et l'ombre des bougies non encore consumées se projette du côté où elle présente le moins d'inconvénients.

La bougie peut être *renversée*, et brûle aussi bien que dans sa position naturelle, l'usure des charbons est alors un peu augmentée dans cette seconde position. Si l'arc s'éteint, le système de M. Wilde produit un rallumage automatique ; l'extinction ne dure alors qu'un temps inappréciable. La bougie et les machines de M. Wilde sont la propriété de la compagnie *l'Alliance* qui se propose d'en poursuivre les applications à Paris.

Bougie de M. Rapieff. — L'appareil de M. Rapieff a été imaginé à peu près vers la même époque que celui de Wilde dont il reproduit les organes essentiels. Nous le mentionnons ici à titre historique, à défaut d'éléments suffisants pour établir le bien fondé d'une revendication dont on trouve beaucoup d'exemples dans l'histoire de l'électricité.

Bougie de M. Jamin. — Dans la bougie imaginée en 1879 par M. Jamin et dont nous reproduisons le premier modèle figure 68, les deux charbons sont plantés parallèlement dans le chandelier et sont entourés d'un fil dans lequel circulent parallèlement les courants alternatifs qui l'alimentent. Pour produire l'allumage, il suffit de toucher les deux charbons à leur extrémité par un troisième charbon qui produit l'amorçage de la bougie. Si on produit l'amorçage au milieu de la longueur des charbons, l'arc voltaïque produit en ce point se transmet avec rapidité à l'extrémité des charbons où il reste, quelle que soit la position de la bougie ; toute l'idée de M. Jamin réside dans le transport déterminé par l'action directrice des courants qui enveloppent l'appareil.

Le courant circule parallèlement dans les charbons et les fils qui l'enveloppent, c'est-à-dire que si, à un moment donné, le courant monte par le charbon de droite et descend par le charbon de gauche, il monte également par les fils de droite et redes-

Digitized by Google

cend par ceux de gauche. L'arc voltaïque, qui n'est autre chose qu'un élément du courant, se transporte dans le sens indiqué par les lois d'Ampère.

Il est à la fois attiré vers le haut par la partie du courant qui passe au-dessus et qui agit en vertu de l'attraction des courants parallèles et de même sens, — repoussé vers le haut par la partie du courant qui passe au-dessous et qui agit en vertu de la répulsion de courants parallèles et de sens contraire, — poussé vers le haut par la tendance du courant de droite à faire tourner le courant mobile dans le sens qui l'amène au parallélisme, — poussé également vers le haut par la tendance du courant de gauche à faire tourner le courant mobile qui l'amène au parallélisme.

Les quatre actions sont concourantes, exactement comme, dans un galvanomètre, les quatre parties du fil (deux verticales et deux horizontales) concourent à faire dévier l'aiguille.

L'énergie de cette action peut être variée à volonté ; il suffit, en effet, de multiplier le nombre des spires de fil qui entourent l'appareil pour augmenter dans le même rapport l'énergie en question. D'autre part, l'action directrice d'un élément de courant enveloppant, sur l'élément mobile (l'arc voltaïque), étant proportionnelle à la simple distance, un cercle enveloppant agit de la même façon quel que soit son diamètre. (S'il devient plus grand, l'action de chaque élément décroît comme le rayon croît, mais le nombre de ces éléments croît comme le rayon et la compensation est exacte.)

Il peut arriver que l'action soit trop forte, le courant étant poussé avec une violence telle qu'on le suivait à peine des yeux dans sa marche, et qu'arrivé au bout des charbons il était encore poussé, s'allongeait et se rompait. Le remède était simple, il n'y avait qu'à diminuer le nombre des spires enveloppantes pour ramener les forces à un équilibre stable.

Dans une seconde disposition de sa bougie, M. Jamin a disposé un système qui a pour effet, à cause des aimantations de sens contraire produites par les courants alternatifs, de communiquer aux charbons un mouvement oscillatoire synchrone aux passages

Digitized by Google

des courants. Au repos les charbons sont au contact et s'allument dès que le circuit est fermé.

Ce rapprochement oscillatoire des charbons permet, d'après M. Jamin, de mieux utiliser le courant alternatif qui ne peut traverser l'arc que si son intensité est suffisante pour vaincre sa résistance.

En rapprochant les charbons quand l'intensité diminue, on fait traverser le courant pendant un temps plus long à chaque oscillation et l'utilisation se trouve, par ce fait, accrue dans une certaine proportion. On aurait ainsi l'avantage de faciliter la combustion du charbon par ce mouvement du charbon en favorisant la circulation de l'air. Ce mouvement vibratoire des charbons, en supposant même qu'il présente tous les avantages que lui attribue M. Jamin, a cependant l'inconvénient de produire un bruit assez intense pour rendre le brûleur gênant dans un appartement. Il ne peut donc servir que pour les rues où le bruit n'a qu'une importance secondaire.

Cet inconvénient se retrouve d'ailleurs, à des degrés différents, dans tous les appareils électriques qui emploient des *courants alternatifs*, ce qui constitue une supériorité en faveur des *courants continus*. Nous avons assisté le 3 juin 1880 à des expériences faites avec un troisième modèle de bougie Jamin dans lequel nous retrouvons le rallumage de la bougie Wilde *identiquement* reproduit. L'électro-aimant G (fig. 69) sert à produire l'écart de charbons en attirant une petite armature EF au moment du passage du courant ; cette armature EF, par une combinaison de leviers ED, DC, écarte le charbon de gauche de chaque bougie A,A′,A″. L'arc se développe d'abord sur les trois bougies et, après quelques hésitations, se fixe sur celle des bougies qui offre la plus petite résistance. Lorsqu'une des bougies est consommée, l'arc vient brûler un petit crochet de laiton B placé à la partie supérieure, alors, sous l'action du ressort R, le support des charbons prend la position OS, l'arc est rompu, les charbons retombent et l'allumage d'une nouvelle bougie se reproduit automatiquement. Il faut donc que les charbons soient d'une fabri-

Digitized by Google

cation très soignée et parfaitement ajustés pour que les trois bougies puissent ainsi fonctionner chacune à leur tour et brûler jusqu'au bout sans accident.

Il y a dans le mécanisme de la bougie Jamin tous les inconvénients d'un régulateur sans les avantages correspondants, car il est impossible, avec ce système, de bien régler la résistance propre de chaque appareil pour qu'il dépense bien régulièrement le courant qui lui est fourni.

Au moment où l'arc s'allonge, il consomme plus d'énergie électrique au détriment des autres lampes, l'inverse se produit lorsque l'arc se raccourcit ; ces changements dans la résistance se traduisent aussi par des différences dans l'intensité lumineuse. La bougie Wilde partage cet inconvénient avec la bougie Jamin ; dans la bougie Jablochkoff, le colombin maintient le parallélisme des charbons et compense *en partie* ces défauts, compensation achetée, il est vrai, au prix de changements notables dans la coloration de la lumière.

Dans une bougie électrique, quelle qu'elle soit, il faut donc payer la *simplicité* en faisant des sacrifices sur la *qualité* de la lumière, fixité ou coloration.

Pour maintenir l'arc à l'extrémité des charbons, M. Jamin emploie toujours son cadre directeur. Ce cadre directeur HH formé de quarante spires (au lieu de six dans le premier modèle) introduit dans le circuit une résistance qui est loin d'être négligeable ; il produit un effet assez disgracieux, ce qui atténue dans une très grande proportion l'avantage qui résulte du fonctionnement tête en bas.

En somme, le troisième appareil de M. Jamin est loin de réaliser tous les avantages qu'on en pouvait espérer.

Bougies électriques de différents systèmes. — M. *Soligniac* a combiné des bougies à quatre charbons ; les deux extrêmes ont quatre millimètres de diamètre et les deux charbons intermédiaires deux millimètres et demi ; les quatre charbons, placés dans le même plan, sont séparés par trois intervalles de un demi-millimètre, sans matière isolante intermédiaire. Le courant

Digitized by Google

arrive à la bougie par les deux charbons extérieurs pris dans des douilles en cuivre venant d'électrodes. Ces bougies fonctionnent très bien, mais sont assez délicates dans leur construction et leur manipulation, elles ne sont pas employées en pratique.

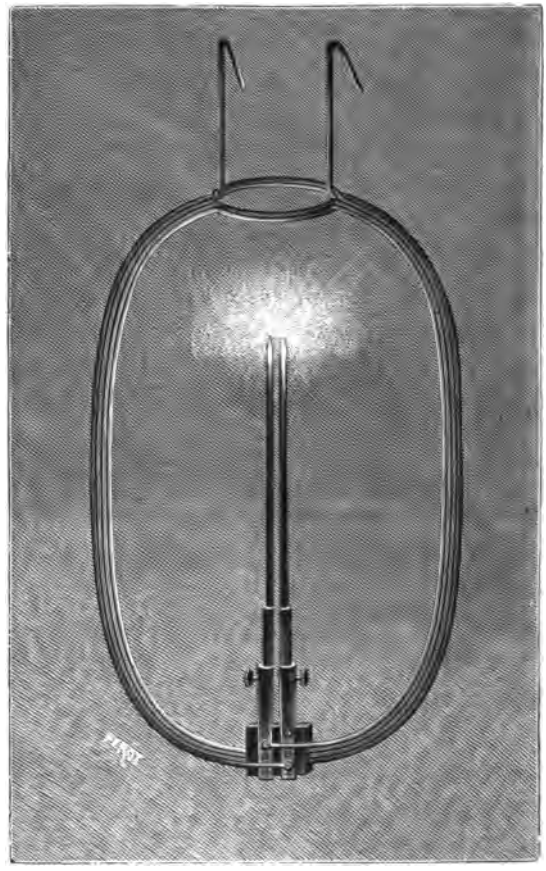


Fig. 68. — Bougie Jamin (modèle 1879).

M. *Gadot*, pour permettre le rallumage et l'allumage automatique, avait imaginé d'introduire dans le colombin des substances médiocrement conductrices permettant le rallumage par *dérivation*. Ce système a fonctionné pour l'éclairage du salon en 1879, ce qui a permis d'économiser un peu sur la lon-

Digitized by Google

gueur des câbles, l'allumage des bougies se faisait nécessairement en commençant par la bougie la moins résistante, mais on y a renoncé à cause des pertes dues aux dérivations qui affaiblissent le rendement lumineux dans un rapport très important.

M. l'abbé *Lavaud de Lestrade* a imaginé un système de porte-

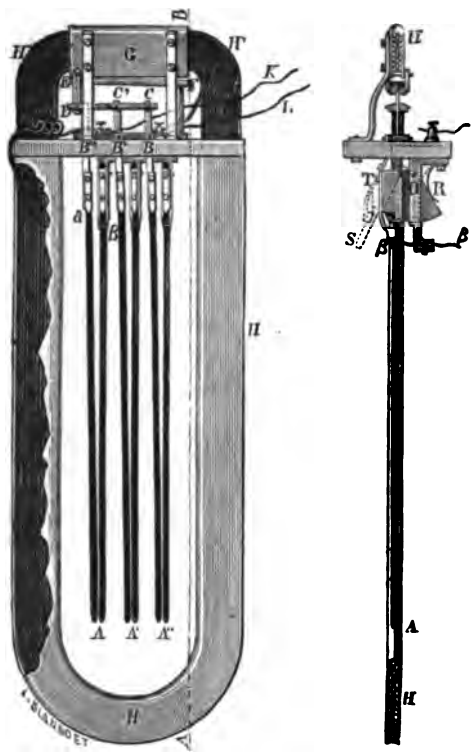


Fig. 69. — Bougie Jamin (modèle 1880).

bougie disposé pour flotter sur du mercure dans le but de maintenir le point lumineux à la même hauteur par suite de l'usure de la bougie et de sa diminution de poids.

Tous ces systèmes, et bien d'autres que nous n'avons pas le loisir d'examiner, ne sont pas passés dans la pratique : les bougies Jablochkoff, Wilde et Jamin sont aujourd'hui les seules qui présentent quelque intérêt et quelque avenir.

Digitized by Google

CHAPITRE III

L'ÉCLAIRAGE PAR INCANDESCENCE

Dans tous les appareils que nous avons examinés jusqu'ici, la lumière est produite par l'arc voltaïque, ce qui suppose un intervalle matériel plus ou moins long entre les deux conducteurs; cet espace est occupé par des gaz élevés à une très haute température et les particules de carbone détachées des électrodes. Dans les systèmes que nous allons maintenant passer en revue, la lumière est produite par un corps *solide* élevé à une très haute température par le passage d'un courant électrique.

Dans l'éclairage électrique par incandescence, il faut distinguer deux grandes classes fondées sur des principes différents :

1° L'*incandescence avec combustion*, systèmes Reynier, Werdermann, etc., la lumière est produite par une baguette de charbon traversée par le courant et qui se *consume* plus ou moins lentement, en venant ajouter la chaleur de sa combustion à celle du courant électrique, ce qui empêche le refroidissement du crayon incandescent et par suite augmente sa puissance lumineuse.

2° L'*incandescence pure*, dans laquelle le courant électrique traverse une substance relativement peu conductrice et l'échauffe jusqu'à la rendre lumineuse, mais sans détruire sa nature. Il n'y a pas en réalité de lampe électrique réalisant complètement ces conditions, comme nous le verrons plus tard, mais

Digitized by Google

il convient de ranger dans cette catégorie tous les appareils dans lesquels ce but a été poursuivi, bien que non complètement atteint.

Dans ces appareils on emploie tantôt une baguette de charbon, tantôt un métal peu fusible tel que le platine, le platine iridié et l'iridium. Nous allons examiner les principaux appareils se rapportant aux deux classes que nous venons de définir.

LAMPES ÉLECTRIQUES A INCANDESCENCE AVEC COMBUSTION

La première lampe à incandescence pure remonte à 1845 et est due à *de Moleyns*, tandis qu'il faut aller jusqu'en 1876 pour trouver le principe d'une lampe à incandescence avec combustion brevetée par M. *Varley* en 1876, encore n'est-elle qu'une disposition intermédiaire entre les lampes à incandescence et les régulateurs à arc voltaïque; on désigne quelquefois ces appareils sous le nom de *lampes à contact imparfait*.

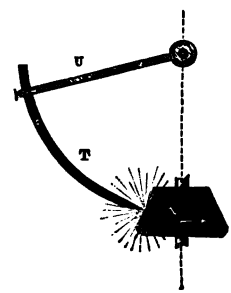


Fig. 70. — Lampe de M. Varley.

Lampe de M. Varley. — Voici comment est décrite la lampe de M. Varley dans son brevet de 1876. « Une baguette de charbon T (fig. 70) repose *mollement* par suite de son poids et de sa monture sur la périphérie d'un galet de charbon de cornue N, d'où contact imparfait et, par conséquent, incandescence et combustion de la baguette de charbon par son extrémité. »

Il paraît, d'ailleurs, que la lumière était produite dans cette lampe par une série d'étincelles résultant de ce que le bloc N était formé de parties alternativement conductrices et isolantes et qu'on lui imprime un mouvement rapide de rotation.

Lampe Reynier. — C'est M. Émile Reynier qui a, en 1877, construit la première lampe électrique à combustion fondée sur l'incandescence d'un crayon traversé par un cou-

Digitized by Google

rant électrique. M. Reynier fut amené à combiner sa lampe en faisant des expériences avec les lampes russes dont nous parlerons plus loin, à propos de l'incandescence pure; ces lampes présentaient toutes un défaut capital : l'amincissement du charbon en son milieu, même sans combustion, amincissement produisant la rupture et obligeant à substituer un charbon neuf au charbon cassé.

M. Reynier fut conduit à penser que si le crayon touchait par son extrémité un charbon massif, l'usure se produirait au point

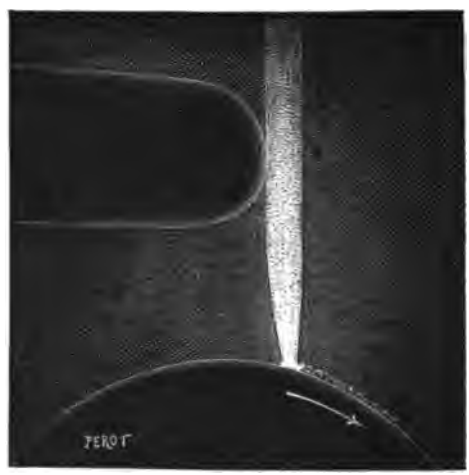


Fig. 71. — Image agrandie du crayon d'une lampe électrique à incandescence. (Système Reynier.)

de contact imparfait, là où la température est la plus élevée à cause de la résistance électrique due à ce contact imparfait.

En faisant l'usure du charbon par son extrémité, on pouvait laisser brûler le charbon à la condition de le pousser, comme on pousse les bougies dans les lanternes des voitures; la combustion du charbon augmentait même la lumière, en contribuant, par la chaleur qu'il produit, au maintien d'une température élevée.

L'appareil de M. Reynier est donc caractérisé dans son principe par un crayon de charbon poussé contre un contact fixe (fig. 71), et rendu incandescent, entre ce butoir et un point

Digitized by Google

de contact placé à quelque distance du premier. La première lampe marchait avec le courant de quatre éléments Bunsen, modèle Ruhmkorff, une machine de Gramme modèle de laboratoire, et même avec une batterie secondaire de trois éléments Planté.

Dans ses premières expériences, M. Reynier trouva que le charbon fixe immobile servant de butoir au crayon incandescent présentait des inconvénients ; il imagina de donner un mouvement lent à ce butoir en le composant d'un disque de charbon tournant autour d'un axe horizontal. *La Nature* du 24 août 1878 a reproduit deux dispositions de la lampe Reynier, qui fut ensuite simplifiée par l'inventeur de la façon suivante :

Le crayon de charbon est poussé vers le bas par son poids et celui du porte-charbon guidé par des galets. Ce crayon vient appuyer sur un disque de charbon un peu en avant de la verticale du centre du disque; il en résulte que la descente du crayon, provenant de son usure, fait tourner le disque sans aucun mécanisme. Le crayon est maintenu à une petite distance par un manchon et en dessous vient s'appuyer un autre contact de charbon qui détermine la longueur incandescente. Par une disposition très simple, la pression exercée par le crayon sur le disque se transmet et produit une action automatique de frein sur le porte-charbon moteur ; d'où il résulte que son poids est retenu efficacement tant que le crayon a toute sa longueur et appuie sur le disque, et que ce poids est au contraire dégagé quand le soutien inférieur vient à manquer par suite de l'usure de la pointe. Il est intéressant d'observer que la température la plus élevée est au point de contact inférieur ; il en résulte que le charbon aminci par la combustion lente dans l'air est plus aminci vers le bas et que la taille et la progression du crayon sont encore facilitées par cette circonstance accessoire, qui, d'obstacle qu'elle était pour les lampes anciennes, est devenue une aide pour le système de M. Reynier.

Cette lampe peut être intercalée dans le circuit d'une machine Gramme actionnant un régulateur et fournir ainsi une lumière

Digitized by Google

additionnelle sans nuire sensiblement à la lumière principale fournie par l'arc voltaïque.

Les lampes Reynier ont une certaine élasticité au point de vue de l'intensité lumineuse, car suivant la puissance du courant qui les traverse, elles peuvent fournir une lumière variant de quatre à quarante becs Carcel.

Lampe Reynier, modèle 1879. — Dans cette dernière disposition de la lampe à incandescence de M. Reynier, le charbon C (fig. 72), poussé dans le sens de la flèche par un mécanisme quelconque, bute sur le contact en bout B, le contact latéral L, monté à l'extrémité d'un levier, s'appuie sur le charbon par le tirage d'un ressort *r* et limite entre *i* et *j* l'incandescence de la baguette.

Le contact en bout B est monté dans un porte-contact fixé à baïonnette dans la douille inférieure du bec. Pour introduire le charbon dans la lampe, on retire ce porte-contact, qui laisse libre l'orifice du tube ; on pousse le charbon dans ce tube, puis on remet en place le contact en bout ; et l'appareil est prêt à fonctionner.

L'incandescence, avons-nous dit, se manifeste entre *i* et *j* sur une longueur qu'on peut faire varier entre 4 et 8 millimètres. La lumière obtenue est de cinq à vingt becs Carcel par foyer, selon l'intensité du courant électrique et la longueur d'incandescence qu'on s'est donnée. Avec une pile de huit éléments Bunsen plats (modèle Ruhmkorff), on produit une lumière équivalente à douze becs Carcel environ. Quand on fonctionne avec des machines magnéto-électriques, on peut produire, par cheval-vapeur, de trois à cinq foyers valant chacun huit à quatorze becs, ce qui fait un rendement de trente à quarante becs Carcel par force de cheval.

Étant donné le bec, il était aisé de l'adapter à des lampes de formes diverses. M. Reynier a fait des appareils marchant de haut en bas par l'action d'un contre-poids ou d'une poussée hydrostatique, un modèle à barillet fonctionnant dans toutes les positions et un appareil suspendu, le plus simple de tous : c'est celui que nous représentons fig. 72.

Digitized by Google

Ici la progression du charbon est obtenue par la descente du cylindre *p*, qui pèse directement sur la tête du charbon.

Allumeur automatique de M. Reynier. — Lorsqu'on met de huit à douze lampes, *en tension*, sur une machine Gramme ordinaire, comme dans les applications de la lampe à incandescence Reynier, la suppression accidentelle d'un seul foyer cause l'extinction de tous les autres. On est alors plongé dans l'obscurité, sans savoir, le plus souvent, quel foyer est en défaut. Il est inutile d'insister sur la gravité d'un pareil accident dont la fréquence sera proportionnelle au nombre des foyers.

Voici la solution imaginée par M. Reynier pour parer aux inconvénients d'une extinction partielle. Elle repose sur l'emploi d'un relais automatique appelé *allumeur*, dont on comprendra aisément le principe en s'aidant de la figure 73.

Le conducteur principal C, C, au lieu de se rattacher directement aux deux bornes de la lampe, vient se fixer sur l'allumeur, où il se dérive en deux circuits d'égale résistance, savoir : la lampe L et une spirale de maillechort R. La dérivation qui passe par la lampe magnétise un électro-aimant dont la fonction est de rompre, au moyen d'un levier, la dérivation de maillechort, laquelle est refermée automatiquement par le même levier quand l'électro est démagnétisé.

La figure 74 représente l'allumeur sous sa forme pratique. C, C, sont les fils de ligne ; L, L, les conducteurs aboutissant à la lampe ; R, R, les attaches de la *résistance*.

Voici comment fonctionne le système, dans tous les cas qui peuvent se présenter.

1° *Les lampes étant toutes garnies de charbon, on ferme le circuit :* le courant se partage pendant un instant entre les résistances de maillechort et les lampes ; mais aussitôt, les électros sont magnétisés et ouvrent toutes les dérivations des résistances, et les lampes seules restent dans le circuit.

2° *Au moment où l'on allume, une ou plusieurs lampes manquent de charbon :* les allumeurs des lampes garnies fonctionnent, comme il vient d'être dit ; ceux des lampes non garnies restent

Digitized by Google

fermés sur les résistances, lesquelles remplacent les lampes éteintes sans modifier l'intensité du courant, ni par conséquent le pouvoir éclairant des lampes allumées.

3° *Une lampe qui fonctionnait s'arrête parce qu'elle manque de charbon, ou par suite d'un accident quelconque :* l'allumeur qui

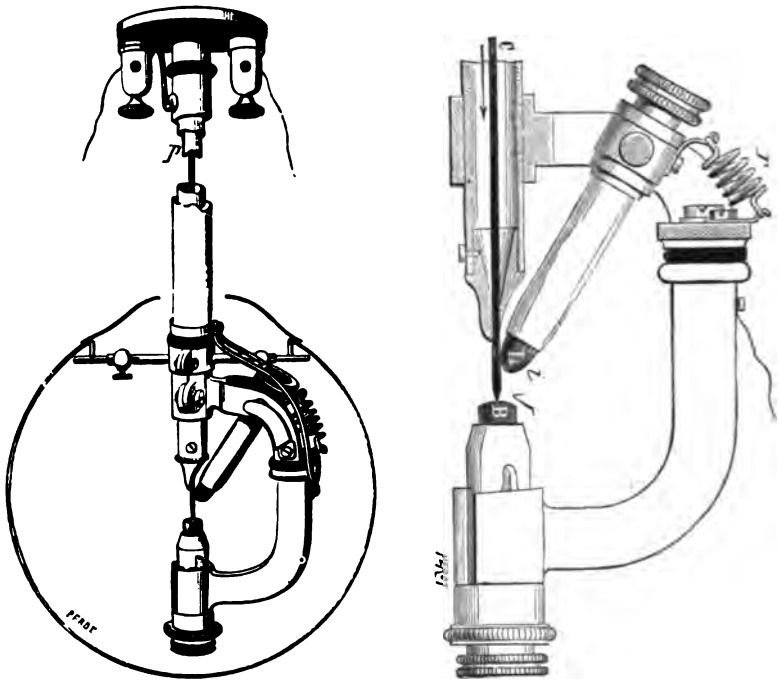


Fig. 72. — Lampe Reynier (modèle 1879).

la commande ferme le circuit de la résistance, et les autres foyers ne sont pas impressionnés.

4° *Pendant la marche des autres foyers, on regarnit une lampe qui manquait de charbon :* le courant se partage, pendant un instant, entre la lampe regarnie et la résistance de son allumeur, dont l'électro, aussitôt magnétisé, ouvre la dérivation de la résistance, laissant la lampe seule dans le circuit.

L'allumeur, on le voit, répond à tous les cas. Il rend les lampes pratiquement indépendantes les unes des autres, et fonctionne

Digitized by Google

sans aucune intervention du lampiste, qui peut même ignorer son existence.

Lampe de M. Werdermann. — La lampe de M. Werdermann reproduit certaines dispositions de la lampe Reynier, mais le point le plus caractéristique consiste dans le renversement de l'appareil.

Dans le premier modèle de M. Richard Werdermann, breveté quelques mois après le système Reynier, le charbon négatif,

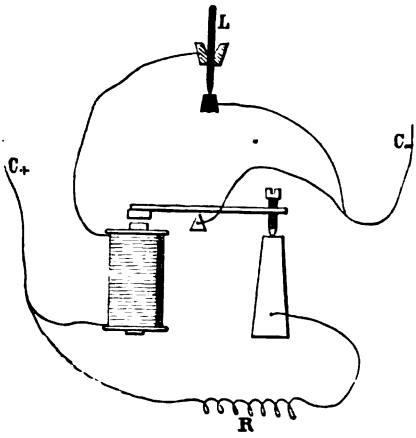


Fig. 73. — Diagramme de l'allumeur automatique de M. Reynier.

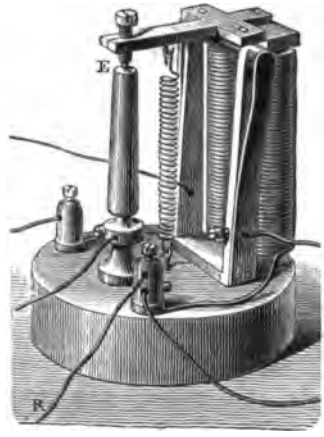


Fig. 74. — Forme pratique de l'allumeur automatique de M. Reynier.

placé à la partie supérieure, est constitué par un disque de charbon de grande section, le charbon positif étant un crayon de quelques millimètres de diamètre (quatre millimètres et demi dans le dernier modèle).

Un simple ressort assure la permanence du contact du crayon avec l'électrode positive ; le charbon est poussé par un poids au fur et à mesure de son usure.

La lampe Werdermann produit-elle ou ne produit-elle pas un arc voltaïque? Telle est la question que l'on pose souvent et qui se réduit à une question de définition. Si l'on entend par *arc voltaïque* un intervalle *matériel* entre les deux électrodes, intervalle rempli par des molécules gazeuses et des particules de char-

Digitized by Google

bon portées à une très haute température, on peut affirmer que la lampe Werdermann ne produit pas d'arc voltaïque. A cause de la poussée même du charbon, il est impossible qu'il n'y ait pas contact entre le disque et le crayon de charbon, contact que l'on

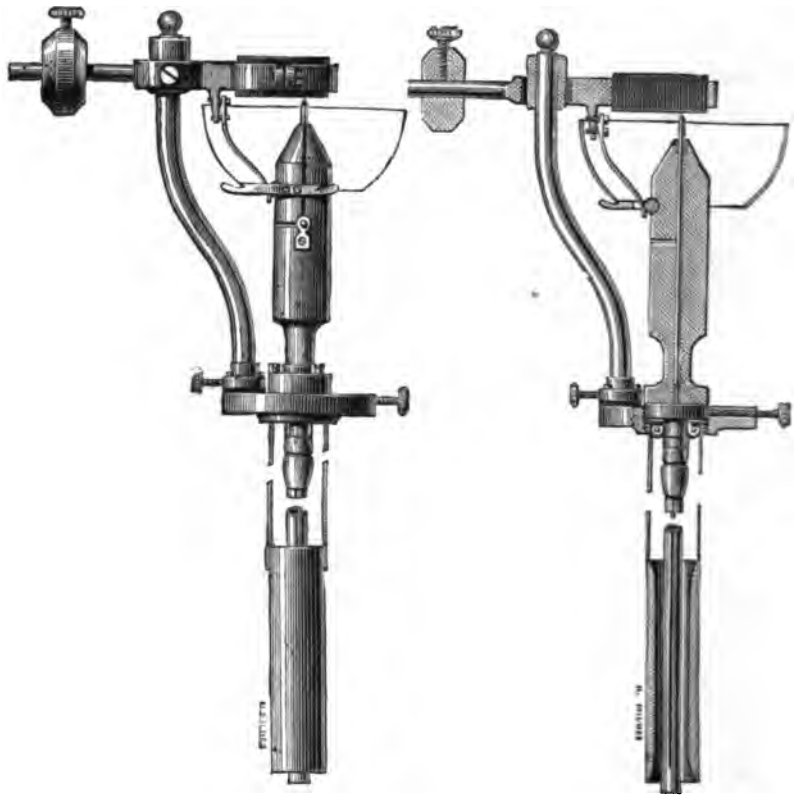


Fig. 75. — Lampe Werdermann. Élévation et coupe.

peut rendre d'ailleurs très léger à l'aide du frein employé dans le dernier modèle.

Mais dans les lampes à incandescence avec combustion, la haute température développée par le courant électrique échauffe fortement l'atmosphère qui entoure le point incandescent, en même temps que des particules de charbon détachées de l'électrode positive viennent s'y consumer. Il se produit donc dans

Digitized by Google

cette partie de la lampe une auréole d'air très chaud, très conducteur rempli de particules de charbon, en un mot se trouvant exactement dans les mêmes conditions que l'*arc voltaïque* proprement dit.

La réponse du Normand convient donc bien en cette matière, pour couper court à des discussions aussi longues qu'inutiles.

Dans les premières expériences de M. Werdermann, les lampes, au nombre de dix, étaient montées *en dérivation* sur un même circuit. Une machine de Gramme de quantité suffisait pour alimenter les dix lampes. Dans les installations nouvelles M. Werdermann les dispose *en tension* avec une machine donnant moins de quantité, mais une plus grande force électro-motrice.

Dans ses nouvelles lampes (fig.75) l'inventeur s'est attaché à régler la pression du contact latéral sur la tige de charbon d'après la pression que cette tige exerce sur le disque supérieur.

Pour cela, le disque est placé sur un fléau équilibré par un contre-poids glissant sur une tige horizontale placée sur la gauche du point de suspension, et fixé en place par une vis. Ce fléau porte un petit bras, placé à l'intérieur du globe, qui vient exercer sur le contact latéral une pression d'autant plus grande que la pression de ce charbon vertical est elle-même plus grande ; cette pression s'oppose au mouvement ascensionnel de la tige de charbon en la coinçant entre deux mâchoires, l'une fixe et l'autre mobile.

Ce système forme donc un frein dont l'équilibre dépend du réglage primitif du contre-poids. A mesure que le charbon s'use, la pression sur le disque diminue, le contact latéral se desserre un peu et permet le mouvement ascendant de la tige de charbon.

Cette disposition permet d'obtenir de très légers contacts entre le disque et le crayon de charbon ; la pression n'est jamais assez forte pour produire une rupture de la pointe, l'usure du charbon se produit très régulièrement et la lumière possède une fixité qu'on ne retrouve au même degré dans aucun autre système.

Ces lampes fonctionnant en tension sur le même circuit, il faut que si l'une d'elles s'éteint, pour une cause quelconque, elle

Digitized by Google

soit aussitôt mise hors du circuit et établisse une communication directe entre les deux bornes d'entrée et de sortie du courant, pour ne pas provoquer l'extinction de toutes les autres lampes placées dans le même circuit qu'elle.

Ce résultat est obtenu par le levier même qui sert à presser sur le contact latéral.

Lorsque le crayon de charbon n'appuie plus sur le disque, ce disque bascule et le levier vient buter contre un arrêt métallique qui établit une communication directe et met la lampe hors du circuit.

Lampes diverses. — On a combiné, depuis MM. Reynier et Werdermann, un certain nombre de lampes fondées sur l'incandescence des charbons avec combustion, nous signalons seulement quelques-unes, qui n'en diffèrent que par quelques détails de construction ou de disposition.

M. *Trouvé* a construit un modèle de lampe dans lequel on retrouve le charbon ascendant, le butoir tournant en charbon et la baguette s'usant en bout du système Reynier. En employant des crayons de charbon très fins, on peut produire une lumière de quelques becs Carcel avec six éléments Bunsen.

Dans la lampe de M. *Ducretet*, la poussée du charbon s'effectue par une colonne de mercure dans lequel il plonge.

Ce dispositif assez simple en apparence, et indiqué d'ailleurs par M. Reynier dans son brevet, présente l'inconvénient de dégager des vapeurs de mercure, malgré toutes les précautions prises pour empêcher la chaleur du charbon incandescent d'arriver jusqu'à sa surface.

Enfin M. *Tommasi*, en 1879, a combiné, sous le nom de lampe revolver, une lampe Reynier dans laquelle un certain nombre de charbons, de faible longueur, sont disposés en cercle autour d'un tube de fer de 3 centimètres de diamètre et tournant sur un pivot. Un mouvement d'horlogerie met successivement chacun des charbons dans le circuit, ce qui donne à la lampe une certaine durée. Nous reviendrons sur cette lampe à propos de l'emploi des piles pour la production de la lumière électrique (page 194).

Digitized by Google

LAMPES A INCANDESCENCE PURE

Les lampes électriques à incandescence pure sont fondées sur le principe de l'élévation de température d'un corps médiocrement conducteur et peu fusible, traversé par un courant électrique assez intense.

La lumière émise par un corps chauffé augmentant dans de très grandes proportions avec la température, le problème consiste à trouver un corps peu fusible pour pouvoir porter très haut sa température ; il faut aussi que la chaleur produite par le courant soit concentrée en un très petit espace pour éviter le refroidissement si préjudiciable à la quantité de lumière produite.

Dans l'état actuel de la question, les procédés d'incandescence pure n'ont donné que de très médiocres résultats; il faut attribuer l'insuccès de ces appareils à leur faible rendement d'une part, et d'autre part aux difficultés qu'on rencontrait pour régler exactement l'intensité d'un courant électrique entre des limites fixées à l'avance ; le problème est aujourd'hui résolu par les *régulateurs automatiques de courant*, dont nous dirons quelques mots un peu plus tard.

Les corps le plus communément employés pour produire la lumière par incandescence sont : le platine, le platine iridié, l'iridium et le charbon.

La première lampe à incandescence de platine date de 1841 et est due à un Anglais, *Frédérick de Moleyns*, de Cheltenham.

L'idée d'employer l'iridium et ses alliages est due à *Pétrie* en 1849. Dans ce brevet, Pétrie donne la méthode de préparation de l'iridium destiné à ses lampes électriques.

L'idée d'employer du charbon pour produire l'incandescence appartient à *King* qui la fit breveter en 1845. D'après M. Giffard, King était simplement l'agent du véritable inventeur *J. W. Starr* de Cincinnati.

Starr était l'auteur de plusieurs ouvrages philosophiques, et ce

Digitized by Google

fut Peabody, le grand philanthrope, qui lui fournit le capital nécessaire pour expérimenter ses procédés en Angleterre.

Starr installa un candélabre à vingt-six lumières pour symboliser les vingt-six états de l'Union. Faraday admira beaucoup cette première expérience, à la suite de laquelle Starr et King retournèrent aux États-Unis. Le lendemain de leur départ, Starr fut trouvé mort dans son lit.

King signalait dans son brevet les avantages du charbon de cornue, mais pour empêcher sa combustion, il le plaçait dans un vase clos où l'on faisait le vide ; deux ou plusieurs appareils semblables pouvaient être mis dans le même circuit d'un courant fourni, soit par des piles, soit par des machines magnéto-électriques.

En 1846, *Greener et Staite* firent aussi breveter une lampe analogue à celle de King ; pour débarrasser le charbon de ses impuretés, on le traitait par l'eau régale.

L'idée de l'éclairage par incandescence tomba ensuite dans l'oubli jusqu'en 1873. Un physicien russe, M. *Lodyguine*, reprit l'étude de la question, ce qui lui valut un prix de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg en 1874.

Les avantages présentés par le charbon furent alors précisés fort nettement par Wild, chargé du rapport qui fit décerner le prix. « Le charbon possède, à température égale, un pouvoir « rayonnant plus grand que le platine ; la capacité calorifique « du charbon est beaucoup moindre, de telle sorte que la même « quantité de chaleur élève le crayon de charbon à une tempé- « rature plus élevée qu'il ne ferait d'un fil de platine. En outre, la « résistance électrique de charbon est environ 250 fois celle du « platine, de sorte que le crayon de charbon peut être beaucoup « plus gros tout en élevant sa température autant que le métal. « Enfin le charbon est infusible et sa température peut être éle- « vée sans danger de fusion. »

M. *Kosloff*, de Saint-Pétersbourg, vint en France pour exploiter le brevet Lodyguine, perfectionna un peu la lampe, mais sans aboutir à de bons résultats.

Digitized by Google

En 1875, M. *Konn* imagina une lampe analogue; en 1876 M. *Bouliguine* en construisit une autre avec un seul charbon.

Tous ces appareils, qui n'ont reçu que peu d'applications, sont décrits avec beaucoup de détails dans l'ouvrage de M. Fontaine sur l'*Éclairage à l'électricité.*

En 1879, apparaît la lampe américaine de M. *Sawyer* dans laquelle le charbon incandescent est plongé dans une atmosphère d'azote ayant pour but de s'opposer à sa combustion.

Dans toutes ces lampes, bien que le charbon ne brûle pas, dans le vrai sens du mot, il se produit néanmoins une sorte de désagrégation, d'évaporation qui continue à ruiner lentement les baguettes incandescentes. Cette évaporation est d'ailleurs nettement prouvée par un dépôt pulvérulent de charbon sublimé qu'on trouve sur la surface intérieure des cloches, et sur les diverses pièces intérieures. Nous avions donc raison de dire, au commencement de ce chapitre, que le but poursuivi par les inventeurs, en voulant soustraire le charbon à la combustion et à la désagrégation, n'avait pas été complètement atteint.

La dernière lampe à incandescence de charbon sans combustion dont nous ayons à nous occuper est celle d'*Édison* dont on a fait quelque bruit au commencement de l'année 1880 et qui, au bout de quelques mois, est tombée dans l'oubli, non sans porter un certain préjudice à la réputation de l'inventeur américain.

Lampe à incandescence de charbon de M. Edison. — Après avoir essayé sans succès de produire pratiquement la lumière par l'incandescence de fils de platine traversés par un courant, M. Edison a eu recours à du charbon, mais du charbon spécialement préparé, et c'est cette préparation même qui constitue le fond même de l'invention.

La lampe de M. Edison (fig. 76) consiste en un charbon en forme de fer à cheval ayant 5 à 6 centimètres de longueur et 3 à 4 millimètres de largeur : ce charbon est placé dans un ballon où l'on fait un vide presque absolu puisque la pression de l'air n'y dépasse pas, suivant M. Edison, *un millionième d'atmosphère.* Les extrémités de ce charbon sont prises entre

Digitized by Google

deux pinces de platine *aa*, terminées par deux fils de même métal reliés aux bornes extérieures.

Ce charbon est fabriqué en découpant de petites feuilles de bristol en forme de fer à cheval ; on place un certain nombre de ces feuilles dans un moule en fer qu'on chauffe graduellement

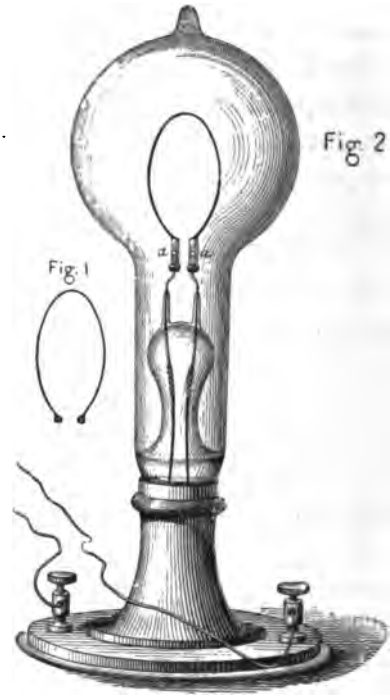


Fig. 76. — Lampe d'Edison.
1. Charbon de papier en fer à cheval. — 2. Ensemble du système.

dans un moufle, en maintenant à la fin de l'expérience une température très élevée pendant un certain temps.

Les parties volatiles du papier disparaissent, et il reste dans le moule un petit filament de *charbon de papier* assez fragile, mais qui, placé dans le ballon où l'on fait ensuite le vide, peut, d'après M. Edison, rester indéfiniment incandescent lorsqu'il est traversé par le courant électrique, sans se rompre ni se détériorer.

Malgré les affirmations de M. Edison, au bout de deux mois,

Digitized by Google

il ne restait plus, sur les deux cents appareils construits à Menlo-Park, que *deux* lampes en état de fonctionner ; toutes les autres avaient été mises successivement hors de service, et la raison en est fort simple. Du charbon de papier préparé dans ces condi-

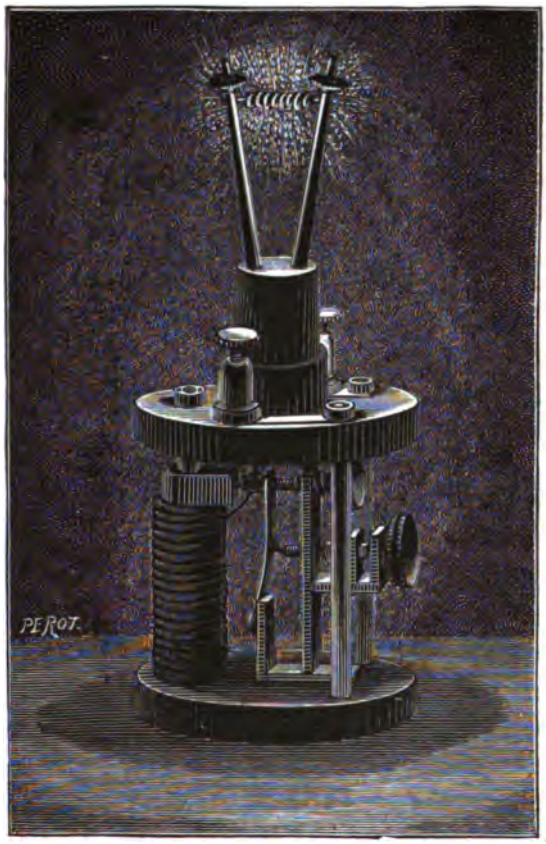


Fig. 77. — Régulateur d'incandescence de M. Lontin.

tions ne peut pas présenter une résistance électrique bien égale en tous ses points. Il en résulte que les parties les plus résistantes chauffent davantage, ce qui active la désagrégation en accentuant encore la non-homogénéité du charbon.

La lampe de M. Edison présente, d'autre part, une faute de

Digitized by Google

principe évidente. En donnant une grande surface à la partie incandescente, on active son refroidissement au détriment de la puissance lumineuse ; aussi le rendement est-il très mauvais, dix becs Carcel par cheval-vapeur environ, alors que le moindre régulateur en donne dix fois plus avec la même puissance motrice. Bien que la lumière soit répartie en huit foyers, c'est acheter trop cher la division que de l'acheter à ce prix.

En résumé, beaucoup de bruit pour rien.

Lampes à incandescence de fil de platine. — Nous avons vu page 181 que la première lampe de cette espèce avait été imaginée par de Moleyns, en 1841, et reprise par Petrie en 1849.

En 1857 M. *de Changy* avait imaginé un système permettant la divisibilité du courant électrique. D'après une lettre adressée par M. *Jobard*, directeur du *Musée industriel belge*, à l'Académie des sciences de Paris, M. de Changy avait pu produire, avec une pile de douze éléments Bunsen, douze lumières très fixes et indépendantes les unes des autres, mais les termes du brevet sont si vagues qu'il est impossible de comprendre exactement comment l'appareil de M. de Changy fonctionnait.

Lampe d'Edison à incandescence de fil de platine. — En 1878, Edison émit les mêmes prétentions que M. de Changy en 1857. La lampe d'Edison, qui fit un certain bruit et qui apporta de grandes perturbations sur la valeur des actions du gaz en Europe et en Amérique, se composait d'une spirale en platine (1), traversée par un courant électrique. Pour empêcher la fusion du fil, une tige métallique placée à l'intérieur de la spirale et chauffée par elle venait, par sa dilatation, établir une communication directe, un court circuit entre les deux bornes de l'appareil et affaiblir momentanément le courant traversant la spirale lumi-

(1) La plupart des lampes à incandescence de métaux emploient des fils roulés en spirale. Le but de cette disposition est de concentrer la chaleur du courant en un petit espace pour élever la température du corps à son maximum et, par suite, lui faire émettre une grande quantité de lumière. Un fil de platine traversé par un courant d'une intensité donnée arrive à peine au *rouge* lorsqu'il est développé, tandis qu'il atteint le *blanc* lorsqu'il est roulé en spirale.

Digitized by Google

neuse. La spirale se refroidissait, refroidissait la tige intérieure qui, en se contractant, rompait le court circuit. Le courant traversait de nouveau la spirale de platine et la même série de phénomènes se reproduisait. Mais comme ces phénomènes d'échauf-

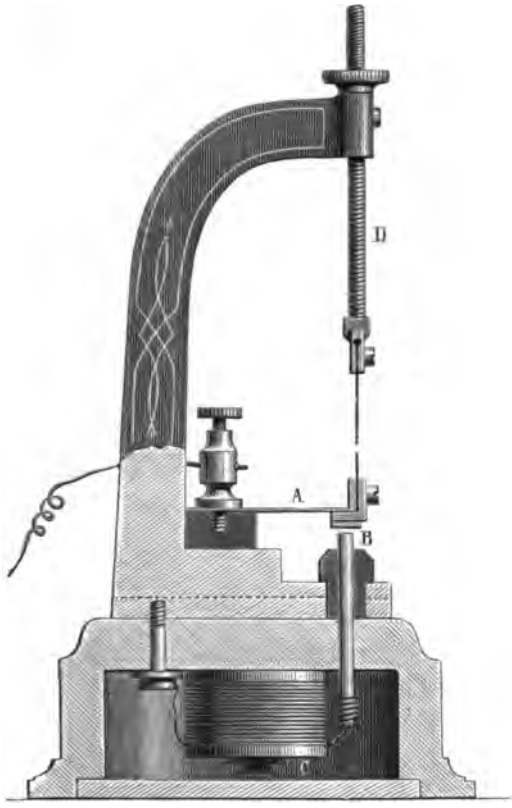


Fig. 78. — Lampe à incandescence de M. Maxim.

fement et de refroidissement sont très rapides, l'appareil d'Edison était transformé en un véritable *trembleur électrique*.

Lampe à incandescence de M. Lontin. — La lampe d'Edison utilisait l'échauffement de la spirale de platine pour établir le court circuit de dérivation ; dans la lampe de M. Lontin, c'est l'intensité du courant, c'est-à-dire la cause, et non l'effet, qui produit elle-même cette dérivation.

Digitized by Google

Dans l'appareil de M. Lontin (fig. 77) le courant arrive par une des bornes de la lampe, traverse le fil d'un électro-aimant droit. la spirale incandescente et sort par la seconde borne. La borne d'entrée est reliée aussi avec le noyau de l'électro-aimant droit et la borne de sortie avec une petite lame verticale portant à sa partie supérieure un petit bouton de fer placé en regard de l'électro-aimant.

Un petit ressort antagoniste réglé à la main exerce une certaine tension sur la lame et la maintient éloignée de l'électro-aimant.

Tant que le courant n'atteint pas l'intensité pour laquelle l'appareil a été réglé, le petit bouton formant armature reste éloigné du noyau de l'électro-aimant, mais si le courant dépasse cette intensité, l'électro-aimant attire le bouton de fer jusqu'au contact ; le courant trouvant un chemin direct traverse en grande partie le noyau de fer et la petite lame ; la spirale ne reçoit plus alors qu'un courant de dérivation très faible et se trouve par suite préservée de la fusion. L'électro-aimant devient inactif, puisque le courant qui le traverse est très faible, il lâche l'armature que le ressort antagoniste ramène à sa position première et la même série de mouvements se reproduit tant que l'intensité du courant dépasse celle fixée par le réglage du ressort antagoniste.

Un seul régulateur peut servir à plusieurs lampes à la fois, si toutes les spirales sont montées en tension dans le même circuit.

Lampe Maxim. — La lampe de M. Maxim de Bridgeport (Connecticut) est analogue à la lampe d'Edison.

Une lame de platine (fig. 78) est fixée verticalement, à sa partie supérieure, au support à vis D ; elle est tendue à sa partie inférieure par un ressort A. Une tige de platine B placée dans le socle se relie à l'extrémité du fil d'une bobine de résistance C, dont l'autre extrémité touche le support en fer de l'appareil.

Un des fils de la source électrique est fixé à la borne reliée au ressort A, l'autre fil ferme le circuit en se fixant au support vertical. Le courant passe ainsi par le ressort A, la lame de platine et la tige D. Le platine arrive à la température du rouge blanc et projette une vive lumière. L'augmentation de température due

Digitized by Google

à l'augmentation d'intensité du courant fait dilater la lame, il s'établit un contact en B et une partie du courant traverse alors le fil de la bobine C. La température s'abaisse, le platine se refroidit et ainsi de suite. C'est la lampe d'Edison, mais beaucoup plus simple ; elle peut servir dans les cabinets de physique à montrer à la fois la dilatation des corps, la chaleur développée par le courant électrique, la lumière par incandescence et le principe des dérivations, et c'est à ce seul titre que nous la donnons ici, car elle ne présente aucun avenir pratique.

Régulateurs automatiques de courants. — Le principe des lampes à incandescence Edison, Maxim, Lontin est toujours le même ; il consiste à dériver le courant sur un autre circuit pour affaiblir celui où il tend à devenir trop intense.

Il y a là un principe mauvais que nous allons faire saisir par une comparaison. Si nous recevons un liquide précieux venant d'une source quelconque dans un bassin prêt à déborder, il ne viendra à l'idée de personne d'ouvrir un robinet sur la conduite même et de laisser perdre ce liquide pour empêcher le bassin de déborder. Il sera plus simple de régler l'arrivée du liquide et l'ouverture du robinet pour obtenir un écoulement en proportion avec la dépense, sans gaspillage. Dans les lampes Edison, Maxim et Lontin, on fait cependant tout le contraire. La lampe recevant trop de courant, on ouvre un second débouché au courant, on augmente la dépense totale pour la diminuer sur la branche où elle est trop grande. Les lampes à incandescence donnant par elles-mêmes un très mauvais rendement, il est inutile de le diminuer encore par un procédé aussi barbare que primitif.

Il existe une série d'appareils dont le principe est beaucoup plus satisfaisant et qui jouent le rôle du robinet dont nous parlions tout à l'heure ; ces appareils se nomment *régulateurs de courant*, et lorsqu'ils accomplissent eux-mêmes leur fonction, sans l'intervention humaine, ils s'appellent *régulateurs automatiques de courant.*

Si plus tard, à cause des avantages que présente l'incandescence pure sur les autres systèmes d'éclairage, on ne recule pas devant

Digitized by Google

la dépense pour en faire quelques applications à des éclairages de grand luxe, ces appareils pourront rendre des services en garantissant de la fusion les corps incandescents sans dépense inutile.

En attendant que la pratique sanctionne ces applications, nous ne pouvons signaler ici que le principe sur lequel s'appuient ces régulateurs.

L'échauffement d'un fil traversé par un courant est, d'après la loi de Joule, proportionnel au carré de l'intensité de ce courant; d'après la loi de Ohm cette intensité est elle-même proportionnelle à la force électro-motrice de la source électrique, et inversement proportionnelle à la résistance électrique du circuit. On est donc maître de cette intensité en réagissant sur la force électro-motrice ou sur la résistance du circuit.

Lorsque la source électrique est une pile, la force électromotrice est constante, sous réserve des phénomènes de polarisation dont l'importance est secondaire ; on ne peut donc agir que sur la résistance, en intercalant dans le circuit une résistance plus grande si l'intensité tend à augmenter, et en diminuant au contraire cette résistance si l'intensité tend à diminuer, diminuant en même temps le *débit* électrique.

Les régulateurs automatiques remplissent eux-mêmes cette fonction ; on peut les comparer au régulateur à force centrifuge des machines à vapeur qui ouvre ou ferme la valve d'arrivée de la vapeur, lorsque la machine ralentit ou accélère son allure.

Lorsqu'on emploie des machines magnéto-électriques, le régulateur n'agit aussi que sur la résistance du circuit. Avec les machines dynamo-électriques le régulateur, en augmentant ou diminuant la résistance du circuit, agit en même temps sur la force électro-motrice de la machine ; son influence se fait donc plus vivement sentir dans ce dernier cas puisqu'elle s'exerce en même temps sur la pression et sur la section de passage. Les régulateurs automatiques à résistance variable rendront des services dans tous les cas où l'intensité du courant d'une source électrique doit être maintenue entre des limites fixées à l'avance (1).

(1) Voir pour plus de détails la *Lumière électrique* du 15 mai 1879.

Digitized by Google

Systèmes divers d'éclairage. — Dans certains cas particuliers on a employé des systèmes d'éclairage électrique tout particuliers dont nous devons dire rapidement quelques mots.

M. *Gaiffe* a combiné, pour l'éclairage des mines, un système d'éclairage formé d'une bobine de Ruhmkorff et d'un tube de Geissler enveloppé d'un second tube de verre plus épais destiné à le préserver des chocs. Le mineur porte sur son dos la pile et la bobine disposées dans un petit havre-sac ; la lampe qu'on peut tenir à la main ou accrocher est tenue à la main par des fils souples d'une certaine longueur. M. *Planté* a proposé dans le même but l'emploi de sa pile secondaire. M. *Jablochkoff* a obtenu en 1878 l'illumination de lames de kaolin avec des courants de haute tension développés dans une bobine d'induction sans trembleur par les courants alternatifs des machines de Gramme. La lumière est très fixe et très belle : elle varie, suivant la puissance de la source, entre deux et quinze becs Carcel. Ce système est donc un véritable éclairage par incandescence, mais il faut préalablement amorcer la lame, l'échauffer pour la rendre conductrice, en joignant les deux électrodes qui communiquent à la lame de kaolin par un crayon de charbon de cornue. En provoquant d'abord l'étincelle en un point, le charbon rougit, transmet sa chaleur à la partie du kaolin la plus voisine et le courant passe, d'abord sur un petit parcours, puis sur une longueur de plus en plus grande, à mesure qu'on fait glisser le charbon sur le kaolin. L'irradiation fait paraître la bande illuminée beaucoup plus large qu'elle ne l'est en réalité. L'usure de la lame de kaolin est insensible et ne dépasse pas un millimètre par heure.

M. Jablochkoff a obtenu des résultats encore meilleurs par ce système en intercalant dans le circuit d'une machine magnéto-électrique de l'Alliance un condensateur et la lame de kaolin.

Il n'emploie plus alors de bobines d'induction ; ce sont les décharges successives du condensateur qui alimentent la lame de kaolin.

Quelques inventeurs ont aussi proposé l'emploi de poudres

Digitized by Google

rendues incandescentes par leur passage à travers un arc voltaïque. Un anglais, *Way*, illuminait des filets de mercure traversés par le courant ; les vapeurs mercurielles dégagées par cette lampe ont empoisonné son inventeur.

Deux Américains, MM. *Moléra* et *Cébrian*, ont proposé de créer un petit nombre de foyers uniques et de canaliser la lumière produite par ces foyers à l'aide de lentilles et de réflecteurs le long des bâtiments et sous les parquets, pour distribuer la lumière à domicile. C'est là une fantaisie américaine de grande envergure.

Citons encore les expériences de M. *Maiche* qui intercalait un électro-aimant puissant et à gros fil dans le circuit d'une pile et d'une lampe disposée pour fonctionner comme un trembleur électrique. La lumière produite provenait des étincelles d'extra-courant dues aux ruptures rapides du circuit à travers les charbons de la lampe, mais à cause de sa scintillation continuelle, elle n'était applicable qu'à des signaux de nuit.

De toutes ces tentatives plus ou moins heureuses, il ne reste plus aujourd'hui que deux méthodes générales d'éclairage électrique :

1° *L'arc voltaïque*, par les régulateurs et les bougies ;

2° *L'incandescence*, par le charbon, le platine, l'iridium et autres corps réfractaires médiocrement conducteurs.

Digitized by Google

CHAPITRE IV

LES APPLICATIONS DE L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Les applications de la lumière électrique prennent de jour en jour une importance plus grande, et il serait trop long d'énumérer toutes celles qu'elle a déjà reçues depuis les premières expériences de *Deleuil* et *Archereau* en 1842.

Nous nous contenterons d'en signaler quelques-unes parmi les plus importantes, depuis les puissantes lumières des phares qui produisent des foyers de 2000 becs Carcel et plus, jusqu'aux lumières à incandescence dont la puissance lumineuse atteint un dixième de bougie à peine, et qui servent en médecine à l'éclairage des cavités obscures.

LES SOURCES ÉLECTRIQUES CONSIDÉRÉES AU POINT DE VUE DE LEURS APPLICATIONS A L'ÉCLAIRAGE.

Après avoir décrit les différents modes de produire le courant électrique et les appareils qui transforment en lumière l'électricité qu'on leur envoie, nous devons examiner la valeur de chacune des sources électriques par rapport aux foyers qu'elle doit alimenter, avant de passer en revue les diverses applications qui en ont été faites. Nous suivrons pour cet examen rapide l'ordre

Digitized by Google

que nous avons suivi pour l'étude des générateurs électriques.

Piles à liquides. — Bien que l'on puisse, *théoriquement*, faire de la lumière électrique avec une pile *quelconque*, à la condition de disposer convenablement un nombre suffisant d'éléments, il existe fort peu de piles à liquides capables de produire facilement et économiquement de la lumière. Les grands développements de l'éclairage électrique ne datent que de l'emploi des machines puissantes; ils ne remontent qu'à une dizaine d'années environ (1), mais l'apparition de la bougie Jablochkoff, en 1876, a été le coup de fouet qui a donné un élan nouveau aux inventeurs, et surtout aux spéculateurs et aux spéculations. Avant les machines, la pile de Bunsen, sous ses différentes formes, a été appliquée pour l'éclairage des grands travaux avec le régulateur Serrin, les projections et les théâtres avec le régulateur Foucault et Duboscq. Aujourd'hui encore elle est employée à l'Opéra, pour les effets de scène; la planche II reproduit une vue pittoresque de la salle des piles de notre grande scène lyrique. Nous décrivons plus loin cette installation. Aujourd'hui l'emploi des piles pour l'éclairage électrique, sauf quelques rares exceptions, est réservé exclusivement aux cabinets de physique, aux expériences de laboratoire et aux projections.

En dehors des considérations économiques, qui font rejeter l'emploi des piles, à cause de leur prix élevé, la manipulation d'un grand nombre d'éléments, — il en faut au moins quarante de puissance moyenne pour produire un arc voltaïque un peu stable, — présente des ennuis et des difficultés, et les vapeurs d'acide hypoazotique sont très dangereuses à respirer.

Malgré ces nombreux inconvénients, M. le marquis *Tommasi* a essayé, en 1879, de rendre la pile Bunsen pratique et applicable à l'éclairage domestique. L'élément Tommasi, qui ne présente rien de bien particulièrement nouveau, malgré le nom un peu prétentieux de *pile perpétuelle* dont l'a baptisée M. l'abbé Moigno, ne peut en aucune façon remplir le but que se propose l'inven-

(1) L'application des machines de l'*Alliance* à l'éclairage électrique des phares de la Hève existe cependant depuis 1863.

Digitized by Google

teur et la société qui l'exploite ; il nous a été impossible, malgré toute notre bonne volonté, de voir une seule application d'un système d'éclairage électrique établi sur une base de deux millions de francs, base qui constitue jusqu'ici son unique valeur.

La pile dite *impolarisable* de M. *Cloris Baudet* se trouve, à la réclame près, dans le même cas que la pile Tommasi.

M. Émile Reynier était, plus que personne, intéressé à trouver une pile pratique qui, appliquée à ses lampes, leur aurait ouvert un immense champ d'applications. Après avoir essayé toutes les piles connues capables de donner quelques résultats il en a conclu qu'aucune d'elles ne pouvait satisfaire aux conditions exigées pour les applications de l'électricité à l'éclairage domestique. Les piles de MM. Tommasi et Cloris Baudet n'ont rien changé à ce jugement : le champ reste donc ouvert aux inventeurs qui seront peut-être plus heureux dans l'avenir.

Piles thermo-électriques. — L'application des piles thermo-électriques à l'éclairage ne date que d'hier, et c'est à M. Clamond que revient l'honneur de l'avoir produit pour la première fois en 1879.

Avec la pile de 6000 éléments que nous avons décrite page 43, M. Clamond a pu faire fonctionner deux régulateurs Serrin disposés spécialement pour cette pile et fournissant une lumière variant de trente à cinquante becs Carcel pour chacun d'eux.

Ce résultat promet beaucoup, bien que jusqu'ici on puisse le regarder comme médiocre au point de vue du rendement économique.

La pile Clamond et les piles thermo-électriques en particulier n'ont pas dit leur dernier mot. L'idée d'allumer un calorifère pour produire le courant utilisable à l'éclairage est assez séduisante pour tenter les chercheurs et, au risque de commettre une indiscrétion dont nous demandons pardon à l'avance, nous pouvons affirmer que deux ingénieurs familiarisés avec les questions électriques, M. Frank-Géraldy et M. Jules Carpentier, s'occupent activement de résoudre plus complètement un problème auquel

Digitized by Google

viendra bientôt répondre, nous l'espérons du moins, le succès que nous leur souhaitons de tout cœur.

Piles secondaires. — Bien que la pile secondaire ne soit pas à proprement parler un générateur électrique, elle peut rendre des services dans plusieurs applications spéciales dont nous citerons quelques-unes au hasard.

Les piles secondaires permettent de produire, après quelques minutes de charge, avec deux éléments Bunsen, un arc voltaïque d'une durée de quelques secondes et d'une très grande intensité en employant un nombre suffisant de couples secondaires. Cette lumière pourrait être appliquée aux signaux lumineux, à la photographie, et, en général, dans tous les cas où l'on ne demande pas une longue durée d'éclairage.

En étendant encore le problème, les piles secondaires permettront, si l'on parvient à augmenter la puissance d'emmagasinement des éléments, d'utiliser les forces naturelles, cours d'eau, vents et marées, à l'éclairage électrique, en employant les procédés dont nous avons parlé à propos des piles secondaires.

Il n'y a aucune utopie à prévoir une pareille application, car elle repose sur un principe philosophique qui est l'utilisation des forces perdues, ou plutôt non utilisées, et sur des appareils qui ont tous déjà une existence réelle, moulins à vent, turbines, machines électriques et batteries d'emmagasinement.

La question une fois posée, la solution pratique se fera d'autant moins attendre que l'on en appréciera davantage l'importance et l'utilité.

Machines à courants continus. — Toutes les machines à courants continus que nous avons examinées peuvent s'appliquer aux régulateurs à arc voltaïque; la plupart des inventeurs cependant ont un régulateur spécial allant de préférence avec leur machine.

Avec les machines Gramme, on emploie le plus souvent les régulateurs de M. Serrin; les lampes à déclanchement de Siemens sont alimentées par les machines de Siemens; les appareils Brush,

Digitized by Google

Wallace-Farmer, Bürgin, s'emploient avec les régulateurs des mêmes inventeurs.

Dans la plupart des lampes à arc voltaïque alimentées par des courants continus, le générateur est *monophote*, c'est-à-dire que l'on ne dispose qu'une seule lampe sur le circuit de la machine.

Pour l'éclairage par incandescence, le même appareil peut alimenter plusieurs lampes, montées, suivant les cas, en tension, en dérivation ou en séries. C'est ainsi qu'à Creil, dans l'usine de M. Ponsard, une seule machine de Gramme alimente *dix* lampes Werdermann disposées en deux circuits de cinq lampes chacun. La blanchisserie de M. Duchesne-Fournet au Breuil-en-Auge (Calvados) est éclairée par onze lampes Reynier disposées toutes en tension sur le circuit d'une machine Gramme du type d'atelier. Ces machines permettent même de produire des éclairages mixtes, c'est-à-dire qu'avec un seul générateur électrique on peut alimenter deux lampes Reynier et un régulateur Serrin en tension sur le même circuit sans affaiblir très sensiblement la lumière que fournirait ce dernier sans l'intercalation des lampes.

On produit donc ainsi un foyer puissant et un ou deux petits foyers avec la même machine.

Machines à courants alternatifs. — Bien qu'un certain nombre de régulateurs monophotes soient alimentés par des machines à courants alternatifs, on réserve plus généralement ces dernières pour la production des éclairages divisés, bougies électriques et régulateurs à division. Toutes les bougies, sans exception, sont alimentées par les courants alternatifs, et l'obligation d'user également les deux charbons impose d'une façon absolue, l'emploi de ces machines. D'autre part, leur tension plus grande permet de placer un certain nombre de lampes dans le même circuit. Les machines Gramme permettent d'alimenter par exemple trois, quatre, cinq et même six bougies en tension. M. Rapieff peut alimenter trois de ses lampes en employant la même disposition. Les machines Siemens alimentent dix lampes différentielles et les machines Lontin jusqu'à douze régulateurs Lontin ou de Mersanne sur un seul circuit.

Digitized by Google

Souvent ces machines elles-mêmes sont fractionnées et alimentent plusieurs circuits. Le plus grand exemple de division que nous puissions citer est la machine de Gramme alimentant *soixante* bougies Jablochkoff disposées en circuits distincts de cinq bougies chacun. Nul doute que, dans l'avenir, on n'établisse des machines beaucoup plus puissantes, et que le nombre des foyers alimentés s'élève à cent et même deux cents par générateur. Dans la période d'expériences où se trouve encore l'éclairage électrique, il n'est pas sans danger de confier à une seule machine un trop grand nombre de lampes, car si, pour une cause quelconque, le générateur arrête son fonctionnement ; — une courroie tombée, un balai décroché, etc., — cet arrêt produit aussitôt l'extinction de tous les foyers auxquels la machine est attelée. Ajoutons cependant que cet accident devient de plus en plus rare et disparaît même complètement lorsque les installations sont bien faites et bien entretenues.

Avec le système Jablochkoff cet inconvénient est grave, car, à défaut de rallumage automatique, il faut manœuvrer tous les commutateurs pour remettre des bougies neuves dans les circuits.

Les courants alternatifs ayant une très haute tension, cette propriété a permis d'allumer des bougies placées à de très grandes distances de la source électrique. En Angleterre, des expériences ont montré que les conducteurs pouvaient atteindre une longueur de plus de huit kilomètres, et par suite permettaient l'alimentation des appareils dans un rayon de quatre kilomètres. Ces courants de haute tension présentent cependant certains dangers, car deux personnes ont déjà été tuées en recevant la décharge électrique, et, d'autre part, l'isolement des conducteurs offre certaines difficultés, à moins que l'on ne préfère consentir aux pertes par dérivation, très importantes avec ces courants.

On voit par ce que nous venons de dire qu'il n'existe pas de source électrique dont on puisse conseiller universellement l'emploi. Chaque circonstance spéciale doit déterminer le choix à faire suivant le nombre de foyers, leur puissance, le besoin plus

Digitized by Google

ou moins grand de régularité, de simplicité ou d'économie. Dans les quelques exemples d'application que nous allons maintenant passer en revue, nous signalerons la source employée, en donnant autant que possible, les raisons qui en ont motivé l'emploi.

Éclairage des phares. — C'est le 26 décembre 1863 que les phares de La Hève reçurent pour la première fois un éclairage électrique avec les machines de l'*Alliance*.

En Angleterre on employa peu de temps après les machines de Holmes, peu différentes de celles de l'Alliance.

Aujourd'hui on préfère en Angleterre les machines *dynamo-électriques*, et cette tendance s'explique par ce fait qu'à puissance égale, les machines dynamo-électriques sont moins lourdes, moins chères et moins encombrantes que les machines magnéto-électriques.

Les courants employés aux phares de la Hève sont alternatifs; au cap Lizard, on emploie des courants continus.

Dans l'état naturel de l'atmosphère les machines de l'*Alliance* à quatre disques donnent une portée de 38 kilomètres, et celles à six disques une portée de 50.

Éclairage des navires. — La lumière électrique peut rendre aussi de grands services dans l'éclairage des navires où l'on dispose de vapeur pour la force motrice et où l'installation d'une machine dynamo-électrique ne présente pas de difficultés.

Pour les navires de guerre, on complète l'intallation de la lumière électrique par des projecteurs qui ont pour effet de renvoyer la lumière dans une direction donnée et de sonder successivement tout l'horizon. Les machines dynamo-électriques sont mises en mouvement par de petits moteurs à trois cylindres, système Brotherhood ; la marine française emploie le régulateur à main, qui, pour les usages de la guerre, permet d'obtenir plus facilement les extinctions, les rallumages et de régler instantanément l'intensité de la lumière projetée sur un point donné.

Signaux. — La lumière électrique rendra aussi de grands services pour les signaux de nuit, soit en éteignant la ou les lu-

Digitized by Google

mières, soit en masquant et en démasquant successivement le foyer qui doit être éteint ou rallumé.

La manœuvre se fait à distance par un système très bien combiné par M. *de Mersanne* qui permet, en même temps qu'on effectue ces allumages et ces extinctions, de contrôler si elles ont été effectivement produites sans voir la lampe.

Application à la guerre. — La lumière peut être appliquée à la guerre, soit pour fournir des signaux, soit pour produire des éclairages de plus ou moins longue durée, comme, par exemple, pour reconnaître une fortification, diriger le tir d'une batterie, pour ne pas être surpris lors de l'ouverture d'une tranchée, pour l'éclairage d'une brèche ou d'un assaut, etc. Ces différentes applications ont été étudiées par M. Martin de Brettes dans un mémoire intéressant publié en entier par M. du Moncel dans son *Exposé des applications de l'électricité*. Nous y renvoyons le lecteur.

Aujourd'hui l'emploi des machines dynamo-électriques actionnees par des locomobiles facilite ces opérations.

Pour les signaux de guerre, M. Gramme a combiné une machine de petites dimensions qu'on peut faire mouvoir à bras d'homme. Quatre hommes attelés à une manivelle produisent 50 becs Carcel, intensité bien suffisante pour les besoins de la guerre.

Éclairage de trains de chemins de fer. — La lumière électrique n'est pas encore appliquée d'une façon courante dans les trains de chemin de fer pendant la nuit, mais il est certain qu'elle pourra rendre des services signalés et faciliter le service de plus en plus encombré de nos grandes lignes.

Application de la lumière électrique à l'éclairage des mines et des manufactures. — Le nombre des applications de la lumière électrique à l'éclairage des mines et des manufactures est considérable ; nous ne pouvons mieux faire, pour donner un exemple entre mille, que de prendre celui de l'éclairage de la filature du Champ-du-Pin, à Épinal, chez MM. David Trouiller et Adhémar, en reproduisant quelques extraits d'une

Digitized by Google

note communiquée par M. William Grossetête à la Société industrielle de Mulhouse.

« La salle éclairée est un rez-de-chaussée dont la superficie totale est de 2,926 mètres carrés environ ; déduction faite d'une partie séparée par des murs pleins, il reste une superficie de 2,646 mètres carrés, constituant une salle unique, sans cloisons intermédiaires et tout entière occupée par des machines. Les self-

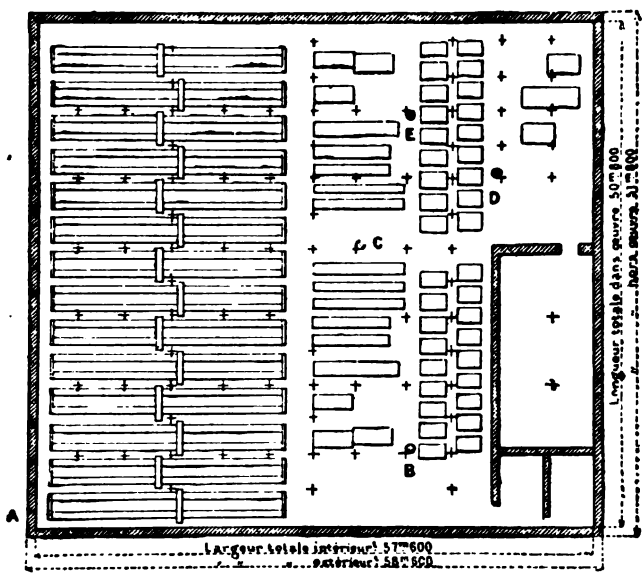


Fig. 79. — Plan de la filature du Champ-du-Pin, éclairée à la lumière électrique.

actings ne sont pas encore éclairés à l'électricité, qui n'a été appliquée jusqu'ici qu'à la préparation, dont la superficie est de 1,314 mètres carrés. Quatre lampes B, C, D, E (voir le plan, fig. 79) ont été appliquées dans cet espace et y répandent une quantité de lumière assurément trop considérable, surtout si on la compare à celle produite par les soixante becs de gaz qui l'éclairaient auparavant.

« Les lampes sont munies de globes dépolis, elles sont placées à 2m,30 au-dessus du sol et éclairent directement à

Digitized by Google

la manière ordinaire. Loin de se plaindre de la fatigue qui semblerait devoir résulter d'une lumière aussi intense, les ouvriers la préfèrent à l'éclairage au gaz, et les crayons ayant manqué pendant trois jours, ils vinrent, dès le premier jour, réclamer l'éclairage électrique.

« Avant l'installation, on avait quelque crainte que les ombres portées par les colonnes, les courroies, les bâtis même des machines, ne fussent un inconvénient. L'intensité des ombres étant en raison de l'intensité de la source de lumière, ces craintes avaient lieu de se manifester. L'expérience montra qu'il n'y avait pas à s'en préoccuper ; grâce à l'entre-croisement des rayons émanés des différentes lampes, grâce aussi à la lumière réfléchie par les plafonds et par les murs, qui sont blanchis, les ombres ne constituent pas un inconvénient.

« Cette lumière réfléchie suffit même pour éclairer d'une manière très satisfaisante les parties de machines où la lumière directe ne peut absolument pas pénétrer.

« Dans l'angle A, par exemple, situé à une distance de 40 mètres environ de la lampe la plus rapprochée, j'ai pu lire une écriture assez fine, en me plaçant de façon à intercepter sur le papier toute autre lumière que celle réfléchie par les murs et les plafonds. Quant à la régularité de l'éclairage, elle est très satisfaisante ; les intermittences sont très rares et dépendent uniquement de la qualité du charbon. Comme elles ne sont jamais que de courte durée et n'ont jamais lieu pour les quatre lampes à la fois, aucune plainte ne s'est élevée à ce sujet. Au point de vue de l'éclairage, la solution est donc satisfaisante.

« J'ai dit que l'intensité de l'éclairage était assurément exagérée dans cette installation ; c'est ce qui résulte en effet de la comparaison des pouvoirs lumineux. MM. Heilmann et Schneider ont établi, par des expériences, qu'une lampe, munie de son globe dépoli, donne une lumière équivalant à quatre-vingts lampes Carcel, pour une force absorbée de deux chevaux-vapeur environ. M. Hippolyte Fontaine, dans son étude sur l'éclairage par l'électricité, dit que, grâce à des améliorations qu'il ne dé-

Digitized by Google

crit pas, un demi-cheval produit le pouvoir éclairant de cent lampes Carcel ; ce serait cinq fois plus que les chiffres trouvés par MM. Heilmann et Schneider. Si, pour certaines applications, cette augmentation est avantageuse, il n'en est pas de même pour les applications spéciales qui intéressent nos industries. Pour celles-ci la solution du problème consisterait à augmenter le nombre des sources lumineuses plutôt que leur puissance.

« Admettons donc le minimum, soit quatre-vingts becs ; l'ensemble constituerait ainsi l'équivalent de trois cent vingt becs pour les quatre lampes.

« Or, la salle était éclairée par soixante becs pour la préparation et soixante-cinq pour les self-actings. Ces chiffres montrent quel excédent relatif de lumière résulte de cette installation ; mais dans l'état actuel des choses, cette condition est indispensable, car, pour l'éclairage d'ateliers de filature ou d'autres analogues, tous les efforts doivent tendre à faire de la lumière diffuse, qui ne peut s'obtenir qu'au prix d'un grand sacrifice de lumière directe. Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus par MM. David Trouiller et Adhémar sont des plus encourageants, et, si l'on tient compte de quelques modifications que la pratique indiquera successivement, on peut dire que cette application a été couronnée de succès.

« Dans le cas particulier, l'économie est réelle, malgré l'immense supériorité de la nouvelle source lumineuse. La force motrice est prise sur un moteur hydraulique, dont l'excédent de puissance fournit, et au delà, la force nécessaire. C'est là un des avantages spéciaux aux usines qui se trouvent munies de moteurs de cette nature, et, pour le plus grand nombre, ce sont celles-là qui dépensent le plus pour l'éclairage, comme par exemple les usines placées dans des vallées éloignées des voies ferrées, et qui payent pour les charbons des prix très élevés.

« Mais ce n'est pas seulement au point de vue de l'éclairage que cette installation est intéressante. La combustion du gaz élève la température des salles, surtout dans le rez-de-chaussée, d'une manière souvent gênante pour les ouvriers ; l'éclairage électrique

Digitized by Google

supprime cet inconvénient. Au Champ-du-Pin, l'échauffement de l'air est insensible, comme le montre l'expérience suivante : la salle avait été éclairée au gaz, comme à l'ordinaire, jusqu'au moment de l'arrêt du travail ; l'éclairage électrique ayant été mis en train, la température s'est abaissée, en une demi-heure, de 3 à 4 degrés. Les produits de la combustion du gaz, qui ne présentent pas d'inconvénients sensibles quand la durée du travail est courte, finissent par devenir gênants quand le travail dure toute la nuit, surtout dans un rez-de-chaussée, car la ventilation est toujours très difficile à y établir. Il n'en est plus de même avec l'électricité, et ce sont là des avantages dont l'importance est à prendre en considération. »

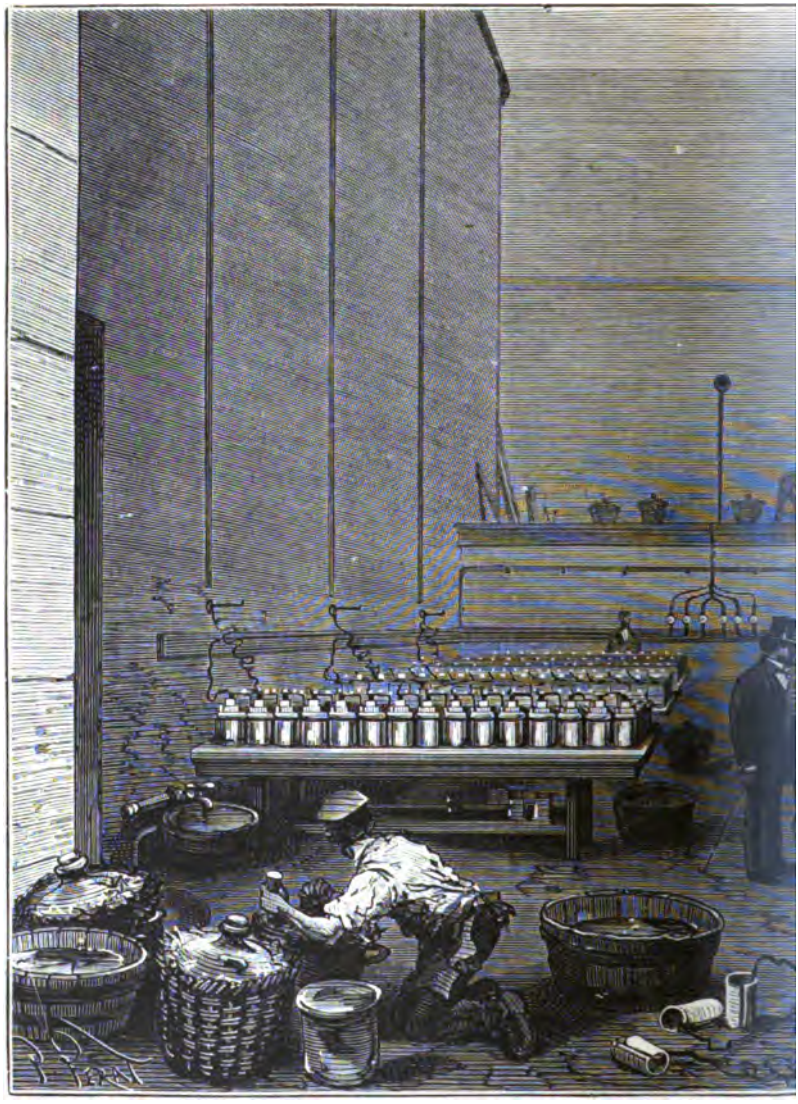
La lumière électrique à l'Opéra. — Les débuts de la lumière électrique au théâtre datent de 1846. C'est dans l'opéra *le Prophète*, qu'elle apparut pour la première fois sous l'apparence d'un effet de soleil qui excita l'étonnement et l'admiration du public.

Il y a près de vingt ans que M. Duboscq a été chargé de projeter, sur la scène de notre Académie nationale de musique, les rayons de l'arc voltaïque, et c'est encore lui qui a organisé, dans des proportions peu communes, l'installation électrique du nouvel Opéra.

La lumière électrique peut être produite sur la magnifique scène que l'on doit à M. Charles Garnier, par trois cent soixante éléments de pile Bunsen qui sont installés dans une salle du rez-de-chaussée du nouveau monument et dont la longueur n'a pas moins de sept mètres (planche II). M. J. Duboscq a disposé là six tables de $2^m,75$ de longueur sur $0^m,75$ de largeur, qui supportent chacune 60 éléments Bunsen, formant une batterie. Ces éléments sont posés sur le dessus de la table qui est formé d'un verre dépoli très épais, n'ayant pas à craindre l'action des acides. Ils sont alignés au nombre de quinze, sur quatre rangées. La table est munie, à sa partie inférieure, d'une planche servant de support à une grande cuvette rectangulaire, où l'on peut placer les zincs amalgamés quand on a terminé l'opération. Les pots en grès de la pile

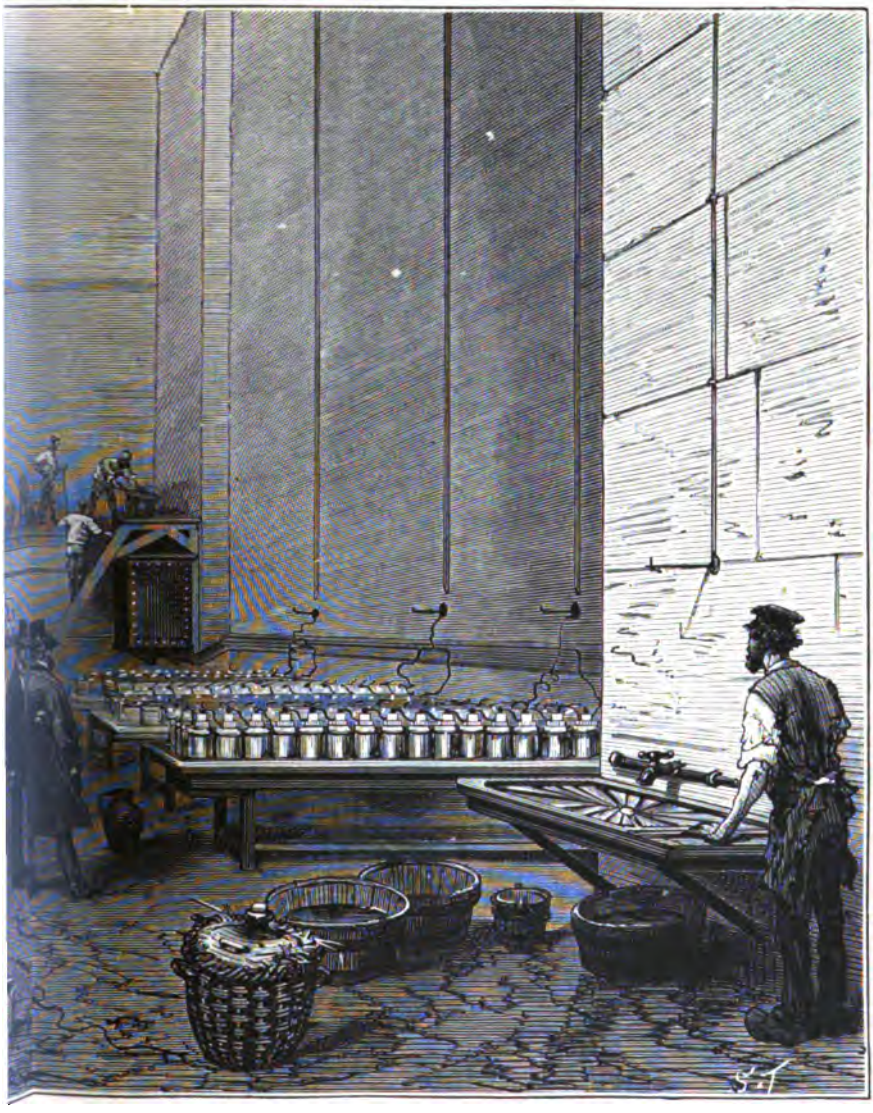
Digitized by Google

Digitized by Google



LA SALLE DE LA LUMIÈRE

Digitized by Google



ECTRIQUE A L'OPÉRA DE PARIS

Digitized by Google

Digitized by Google

remplis d'acide nitrique sont réunis, après l'opération, dans une cuve contenant cet acide et fermée d'un couvercle de bois.

Pour faire fonctionner une batterie électrique d'une telle puissance dans des conditions favorables, M. Duboscq a dû prendre des dispositions spéciales pour la préparation de l'eau additionnée d'acide sulfurique, comme pour celle des zincs amalgamés, nécessaire à la mise en action du système.

A l'angle droit de la salle électrique est un grand réservoir, de la capacité de 1 mètre cube environ, où l'on verse de l'eau que l'on additionne d'un dixième d'acide sulfurique. Un robinet peut mettre le liquide ainsi obtenu en communication avec un siphon vertical formé d'un large tube, où l'on plonge l'aréomètre qui donne son titre, et permet de s'assurer que la préparation a été faite dans les proportions convenables.

Le réservoir à eau acidulée est muni, à sa partie inférieure, d'un tuyau de grès qui se prolonge contre les murs de la salle, et passe devant les six tables-batteries. A côté de chaque table, un robinet de grès permet aux opérateurs de recueillir l'eau acide dont ils remplissent, à l'aide de brocs en terre, les vases de grès des éléments de pile. Les zincs, amalgamés sur deux pierres d'évier, qui recueillent sans en rien perdre l'excès de mercure, sont introduits dans le liquide acidulé; au centre du système on place le vase poreux qui s'est trouvé rempli par son séjour dans la cuve à acide nitrique, on y pose le prisme de charbon poreux, on relie les éléments de pile les uns avec les autres : la batterie fonctionne. Par une excellente mesure de précaution, M. Duboscq a évité l'action dangereuse des vapeurs nitreuses, en plaçant çà et là, sur les piles, des soucoupes contenant de l'ammoniaque qui les condense. Grâce à cette disposition, on peut séjourner dans la salle de l'électricité sans aucun inconvénient.

Chaque table, nous le répétons, forme une batterie de soixante éléments ; les fils électriques sont conduits sur le mur du fond de la salle, où ils traversent six galvanomètres.

Chacun de ces galvanomètres indique, par l'aiguille dont il est muni, le mode de fonctionnement de la batterie à laquelle il cor-

Digitized by Google

respond. Par leur examen, on peut donc savoir, en cas d'accident, quelle est la table où la communication électrique a été interrompue, où tel ou tel accident a pu survenir d'une façon fortuite.

Les six fils isolants, s'échappant des six galvanomètres, traversent les murs et arrivent à la scène, où les courants qu'ils amènent jusque-là peuvent être utilisés soit isolément, soit réunis deux à deux, trois à trois, selon le degré d'intensité que l'on veut donner à la lumière.

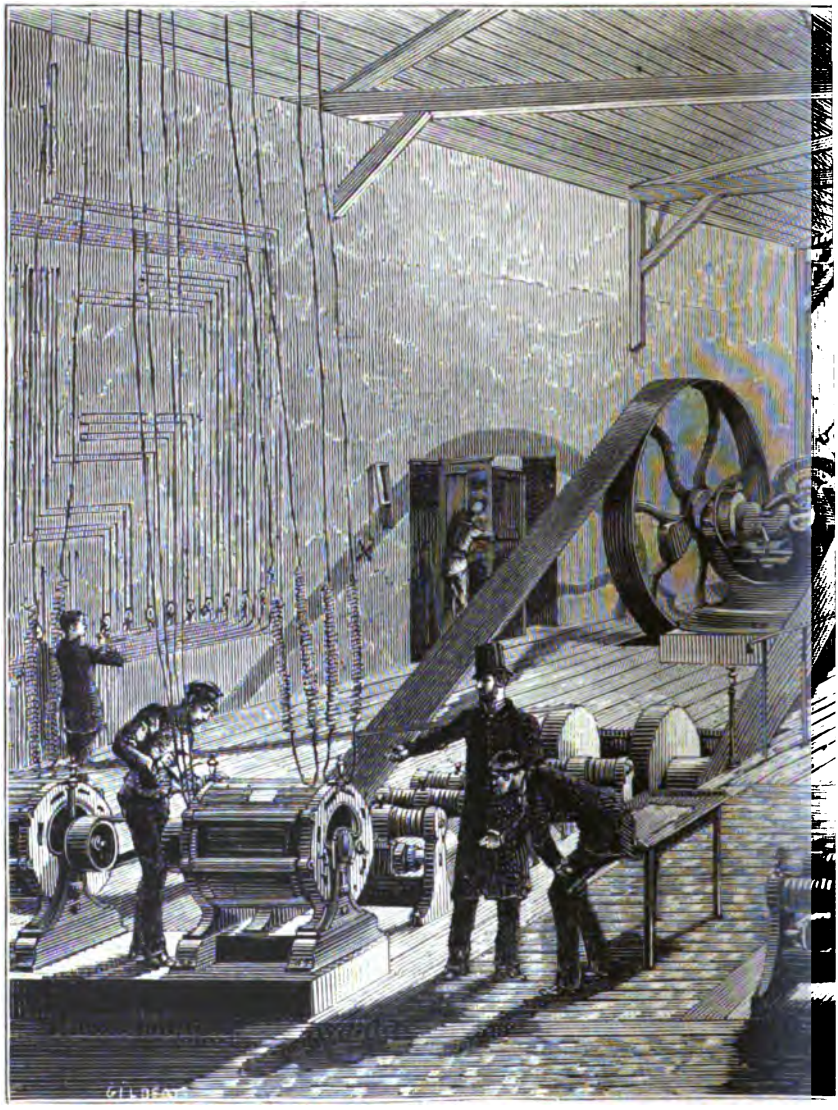
La distance que le courant parcourt, de la salle des piles au point le plus éloigné de la scène, est de 122 mètres; la longueur totale de tous les fils est de 1,200 mètres.

M. Duboscq, imitant les systèmes de fils télégraphiques, se sert de la terre comme fil de retour; l'un des pôles de la pile est en communication avec le fer du monument. Sans cette disposition il eût fallu doubler la longueur des fils. Partout où se trouve l'opérateur, il attache donc son conducteur de retour à n'importe quelle colonne de fer du théâtre, et le circuit se trouve ainsi fermé. Dans la plupart des cas, M. J. Duboscq place sa lampe à régulateur électrique sur une des galeries de bois qui parcourent les hautes régions des décors au-dessus de la scène. C'est du haut de ce ciel artificiel que, nouveau Phébus, il lance sur les nymphes de la chorégraphie les rayons du soleil électrique. C'est de là que, décomposant la lumière par la vapeur d'eau, il projette sur la scène un véritable arc-en-ciel comme dans *Moïse;* c'est encore de là qu'il fait apparaître les vitraux colorés sur les dalles de l'église où Marguerite est aux prises avec ses remords. Quelquefois l'appareil électrique est placé au niveau même de la scène, quand il s'agit de produire certains effets spéciaux, comme celui de la fontaine de vin dans l'opéra de M. Gounod. Le tonneau d'où jaillit, au troisième tableau de *Faust*, un ruisseau de feu, est à double fond, l'arc voltaïque est lancé derrière le décor dans l'eau qu'il contient, et qui, en s'écoulant sur la scène, entraîne avec elle la lumière dont elle est chargée.

L'éclairage électrique de l'Hippodrome. — L'éclairage électrique de l'Hippodrome comprend actuellement (mai 1880)

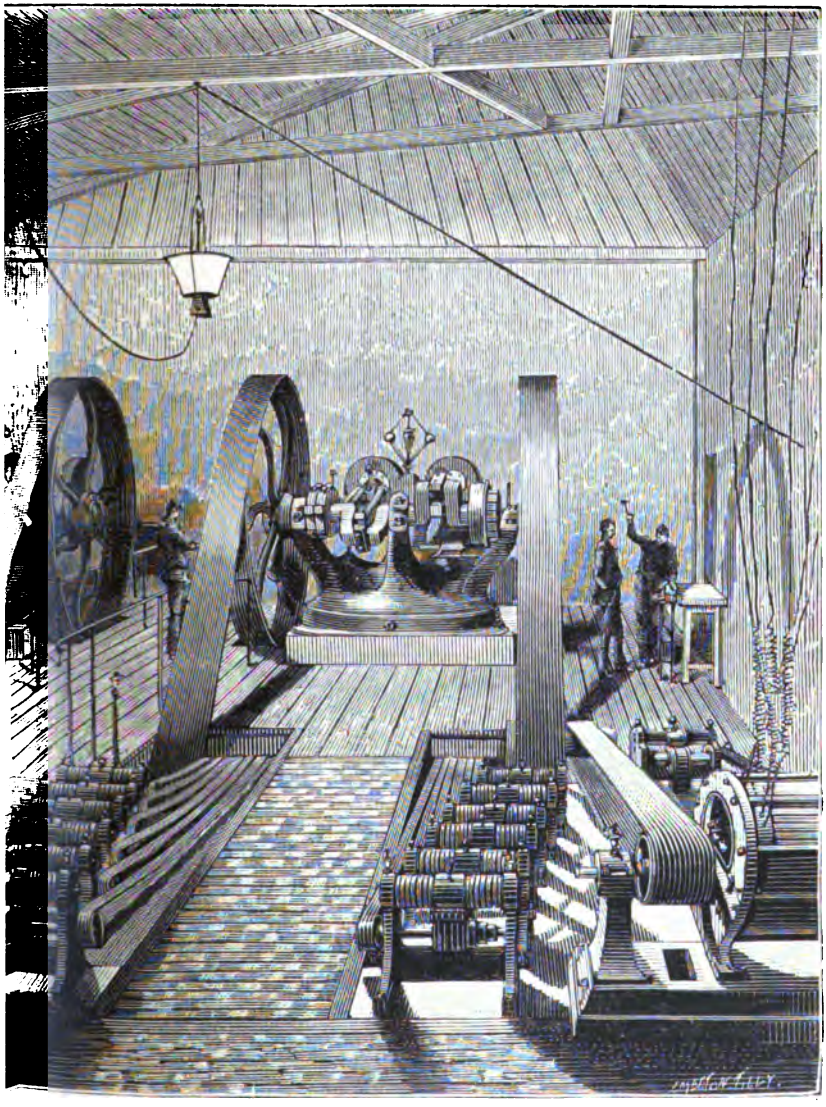
Digitized by Google

Digitized by Google



LA GRANDE SALLE DES MACHINES ÉLECTRIQUE

Digitized by Google



A L'HIPPODROME DE PARIS (D'APRÈS NATURE)

Digitized by Google

Digitized by Google

cent vingt bougies Jablochkoff et vingt et un régulateurs Serrin, qui, en plein fonctionnement, dépensent cent soixante chevaux de force. L'usage de deux systèmes différents, bougies et régulateurs, nécessite l'emploi de deux systèmes de machines différents, tous deux imaginés par M. Gramme.

Les cent vingt bougies sont alimentées par trois machines à courants alternatifs de vingt bougies chacune et par une machine de soixante bougies; cette dernière machine, dont on ne peut voir qu'une partie sur la droite de la planche II, est la plus grande machine à division construite jusqu'ici ; elle ne diffère des autres que par ses dimensions et sa puissance. Les régulateurs sont alimentés chacun par une machine Gramme à courant continu. Chaque machine à courant continu ne peut alimenter qu'un seul régulateur à la fois, mais à l'aide d'un commutateur à plusieurs directions, on peut éclairer différentes parties de la salle suivant les exigences du spectacle. Dans les courses de char et les exercices équestres, on allume les régulateurs du pourtour; pour le travail à terre, les machines alimentent des régulateurs disposés pour éclairer le milieu de la piste; pour le travail en l'air, c'est une autre disposition d'éclairage qui est adoptée. Il n'est pas jusqu'à la jeune et hardie personne qui se suspend par les dents à un chariot et se laisse glisser du haut de l'Hippodrome, le long d'un fil de fer, qui n'ait une lumière électrique spéciale pour éclairer sa descente vertigineuse à travers l'espace.

Tous ces changements s'effectuent avec une rapidité et une facilité remarquables. Signalons encore une disposition qui a permis de réaliser quelques économies dans l'installation. Les machines des régulateurs n'ont pas de fil de retour pour compléter le circuit. Le retour se fait par la terre, ou plutôt par la charpente de l'Hippodrome, qui, toute en fer, sert de conducteur et complète le circuit.

On voit sur notre gravure comment le mouvement est transmis aux machines disposées *en escalier*. Cette disposition a l'avantage de rendre la vitesse de chaque machine indépendante de celle des autres, et par suite de la proportionner à la distance qui sépare

Digitized by Google

la lampe du générateur électrique. Il suffit pour cela de faire varier convenablement le diamètre de la poulie sur chaque machine.

Les machines à division sont à courants alternatifs du système Gramme.

Les bobines sont disposées en quatre circuits alimentant cinq bougies chacun. Ces machines font six cent soixante tours; leurs inducteurs sont alimentés par une machine Gramme du même type que celle des régulateurs Serrin (type d'atelier); ces machines excitatrices font six cents tours par minute.

La machine de soixante bougies alimente douze circuits de cinq bougies chacun et ne fait que cinq cent quarante tours; son excitatrice tourne à une vitesse de mille cent tours.

Tandis que les trois machines de vingt bougies dépensent soixante chevaux, M. Geoffroy, l'ingénieur chef du service électrique, estime que la machine de soixante bougies n'absorbe pas plus de cinquante chevaux de force : on retrouve donc encore ici l'avantage que présente l'emploi des machines puissantes sur celui des petites machines. Le travail dépensé varie entre cent soixante et cent soixante-dix chevaux-vapeur. La force motrice est fournie par deux moteurs à vapeur du type dit *Compound*, de cent vingt chevaux chacun. Deux volants-poulies de $2^m,60$ de diamètre transmettent le mouvement à deux arbres intermédiaires à l'aide de courroies en caoutchouc de 40 centimètres de largeur, cet arbre intermédiaire porte un tambour sur lequel passent les courroies en crin qui transmettent le mouvement aux machines électriques.

Trois chaudières à vapeur, à foyer intérieur et à bouilleurs supérieurs, de soixante-quinze chevaux chacune, complètent l'installation.

Rien de plus vivant et de plus intéressant que cette usine électrique au moment du spectacle, lorsque tout est en marche et que chacun est à son poste.

Les extinctions, si fréquentes au début, deviennent de plus en plus rares, grâce aux soins de M. Geoffroy.

Digitized by Google

Il nous reste à dire quelques mots de la question économique, qui joue ici un très grand rôle. L'éclairage électrique de l'Hippodrome, dont personne ne peut nier la puissance ni la beauté, coûte, tous frais comptés, 250 à 260 francs par soirée. L'éclairage au gaz il y a quelques années coûtait de 1100 à 1200 francs et produisait un effet assez mesquin.

Voilà donc une application d'une importance considérable réalisant une économie qui ne se retrouverait plus pour une application de la lumière électrique de faible importance; dans ce cas, le gaz reprendrait incontestablement ses avantages.

Application de la pile secondaire à la galvanocaustie et à l'éclairage des cavités obscures. — La propriété du courant voltaïque de porter au rouge les conducteurs métalliques résistants, en les traversant, a été utilisée en chirurgie par John Marschall vers 1851 ; par Leroy d'Étiolles, 1853 ; Mideldorpf, 1854 ; Broca, 1856, etc.

Ce ne fut que plus tard qu'on chercha à produire l'éclairage. En 1867 M. le docteur Bruck, dentiste à Breslau, présentait un appareil destiné à éclairer les cavités buccales et auquel il donnait le nom de stomatoscope. Un peu plus tard en France, M. le docteur Millot fit de nombreuses expériences pour éclairer l'estomac des animaux, à l'École pratique de Paris.

Le succès ne répondit pas à ces tentatives par suite de l'inconstance de la source électrique (couples de Grove et de Bunsen) qui nécessitait alors des fils de platine très gros, pour ne pas les exposer à une volatilisation permanente. On obtenait bien des effets lumineux, mais on obtenait en même temps des effets calorifiques trop intenses pour l'application de ce mode d'éclairage. On eut recours à une circulation d'eau pour anéantir ce calorique au fur et à mesure de sa production, mais les appareils étaient trop volumineux et devenaient d'un maniement difficile. Aussi ne passèrent-ils pas dans la pratique.

M. G. *Planté* indiqua dès 1868 l'application de la pile secondaire pour cet usage et le réalisa en 1872.

En 1873 M. le Dr *Onimus* a effectué avec l'appareil de M. Planté

Digitized by Google

des cautérisations de la glande lacrymale sur sept ou huit sujets successivement sans qu'il ait été nécessaire de recharger l'appareil. M. *Trouvé* a ajouté à l'appareil de M. Planté un rhéostat à fils de platine destiné à graduer l'intensité du courant suivant le diamètre et la longueur du fil de platine employé comme appareil éclairant ou comme cautère. Il y a ajouté aussi un galvanomètre à deux circuits pour suivre la charge du couple secondaire et reconnaître l'état dans lequel se trouve à chaque instant la pile destinée à le charger.

C'est cet appareil auquel il a donné le nom de *polyscope* et que nous représentons dans sa boîte (fig. 80).

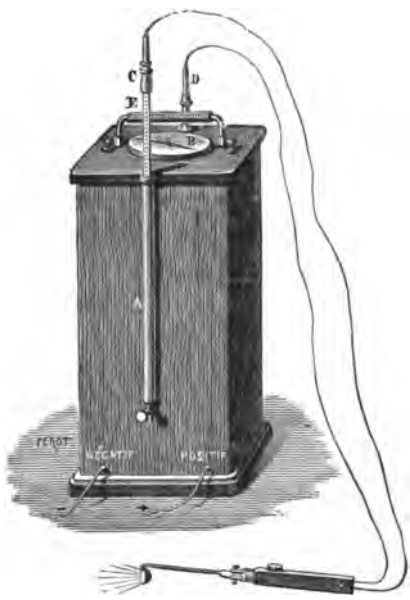


Fig. 80. — Polyscope de M. Trouvé.

Grâce au rhéostat on peut porter au point de fusion, sans jamais le dépasser, pendant plusieurs heures consécutives, des fils de platine depuis $\frac{1}{15}$ jusqu'à 1 millimètre et demi de diamètre. M. Trouvé emploie, au lieu de spirales de platine, de petits fils aplatis au milieu, de manière à former un petit disque incandescent. Le rendement lumineux se trouve ainsi sensiblement augmenté comme l'a constaté M. le capitaine Manceron dans ses expériences d'éclairage de l'intérieur des canons à Saint-Thomas d'Aquin.

Pour l'éclairage des cavités, M. Trouvé emploie une série de réflecteurs sphériques, concaves ou paraboliques, munis ou dépourvus de miroirs. Un manche à pédale et des conducteurs relient ces réflecteurs au réservoir en C et D.

La figure 81 représente un réflecteur avec manche à pédale

Digitized by Google

pour l'éclairage de la gorge et des autres cavités obscures.

Au cinquantenaire de la fondation de l'École centrale, en 1879, M. Trouvé a illuminé pour la première fois, avec un polyscope spécial, l'intérieur d'un brochet; rien de plus intéressant que de voir *par transparence* l'intérieur de ce poisson qui ne paraît pas d'ailleurs autrement incommodé de sa transformation en lanterne

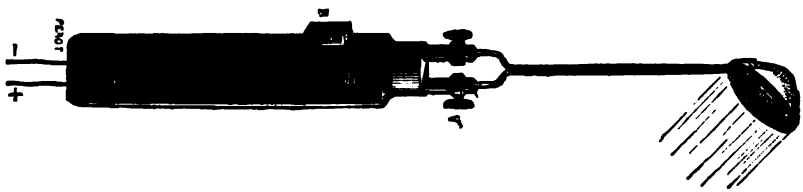


Fig. 81. — Réflecteur avec manche à pédale.

vénitienne d'un nouveau genre. On s'explique facilement la puissance de l'éclairage obtenu avec une source lumineuse relativement aussi faible par la loi du carré des distances : en plaçant le point lumineux très près de l'objet à éclairer, et en ayant l'œil dans l'obscurité, on se trouve dans les meilleures conditions possibles pour bien voir cet objet.

Applications diverses. — Nous avons choisi presque au hasard, parmi les applications si nombreuses et si diverses qu'a reçues la lumière électrique pendant ces dernières années ; il faudrait un volume entier pour passer en revue toutes celles où elle a rendu les services qu'on aurait en vain demandés à l'éclairage au gaz.

On s'en sert dans les *mines* soit avec des tubes de Geissler, comme dans l'appareil de MM. *Dumas et Benoît*, soit avec des régulateurs Serrin et des machines Gramme, comme aux ardoisières d'Angers. Avant l'invention des machines dynamo-électriques, la lumière électrique avait déjà été employée avec des piles pour certains travaux de construction, tels, par exemple, que la construction de l'Imprimerie nationale en 1868-69. Les bougies Jablochkoff ont été utilisées pour l'achèvement rapide du palais du Trocadéro, la restauration du palais du Sénat au Luxembourg, du pont des

Digitized by Google

Invalides, etc. On n'en est plus à compter les applications de la lumière électrique à l'éclairage des gares, des ateliers et des places publiques. Nous la trouvons dans des églises et des théâtres, des bibliothèques et des skating-rinks; sous l'eau pour l'éclairage des travaux hydrauliques et le sauvetage des navires naufragés, dans l'air, sur les plus hauts édifices, comme au 14 juillet, où elle formait une couronne de feu au sommet du Panthéon.

N'oublions pas non plus les applications fantaisistes que certains inventeurs trop enthousiastes réservent à la lumière électrique. Plusieurs ont voulu éclairer une ville entière en disposant en un point élevé une lumière d'une puissance incomparable devant jouer le rôle d'un vrai *soleil électrique*. La loi du carré des distances vient malheureusement montrer bien vite combien cette idée est irréalisable, en dehors des difficultés que présente la création d'un foyer électrique d'une intensité suffisante.

D'autres ont proposé d'éclairer les voitures à l'électricité en mettant à profit le mouvement même du véhicule, et on a fait circuler pendant quelques jours à Paris une *voiture-réclame* fondée sur cette idée. Mais, — un mais terrible, — lorsque la voiture s'arrête, le foyer s'éteint, juste au moment où la lumière devient le plus nécessaire. On pourrait bien emmagasiner l'électricité et la dépenser pendant les temps d'arrêt, mais on surchargerait alors considérablement le véhicule, et c'est bien ici le cas de dire que *le jeu n'en vaut pas la chandelle*.

On a aussi proposé l'emploi de la lumière électrique à la *pêche;* des expériences faites sur le lac d'Enghien ont montré que le procédé était excellent... pour faire fuir le poisson effrayé par cette clarté vive et inattendue. Dans cette expérience, ce n'est pas le poisson qui fut le plus attrapé.

Signalons enfin, parmi les applications plus sérieuses, l'emploi aux projections dans l'enseignement, la reproduction et l'agrandissement des photographies microscopiques qui ont rendu de si grands services pendant la guerre de 1870, les reproductions des agrandissements tels que la *linographie*, si bien exécutée par

Digitized by Google

M. *Pierre Petit*, la photographie la nuit passée dans la pratique courante chez M. *Van der Veyde*, à Londres, et M. *Liebert* à Paris.

Nous allons maintenant examiner les avantages et les inconvénients de la lumière électrique, dire quelques mots de son prix de revient, et après cet examen de l'état actuel du problème de la *division de la lumière*, on saisira bien mieux quel avenir immense lui est réservé si, comme on est en droit de l'espérer, le progrès suit la marche ascendante qu'il a su si bien conserver jusqu'à ce jour.

Avantages et inconvénients de la lumière électrique. — Comme le dit très justement M. Fontaine dans l'avant-propos de son ouvrage sur *l'Éclairage à l'électricité*, « il est incontes-« table que, lorsqu'on a besoin d'une lumière très intense en un « seul point, comme cela a lieu dans les forts pour surveiller « l'ennemi, dans les ports pour combattre l'effet destructif des « bateaux-torpilles, dans les phares pour guider les navigateurs, « la lumière électrique est non seulement la plus économique de « toutes les lumières, mais elle est encore souvent la seule qui « soit applicable. Il est également certain que, pour un grand « chantier comme celui de l'avant-port du Havre ou pour une « vaste enceinte comme celle de l'Hippodrome de Paris, où il est « impossible de suspendre des appareils d'éclairage et de placer « des candélabres sur la piste, la lumière électrique est la seule « possible, la seule qui puisse remplacer le soleil absent.

« On peut donc tout d'abord affirmer que l'éclairage à l'élec-« tricité a un domaine qui lui est propre et où il ne craint même « pas la concurrence des autres systèmes. » Voilà donc la lumière électrique classée comme *foyer intense*, et sans concurrence possible de la part des systèmes antérieurs. Nous l'examinerons tout à l'heure au point de vue des *foyers divisés*.

Un second avantage de la lumière électrique est la faible quantité de chaleur dégagée par l'arc voltaïque. M. *Laurbé* (1) a calculé qu'à lumière égale, l'arc voltaïque produit de *cent cinquante*

(1) Voir *la Lumière électrique* du 15 novembre 1879.

Digitized by Google

à *deux cents* fois moins de chaleur qu'un bec de gaz. Cette propriété est très précieuse et très appréciée dans un grand nombre d'applications où la chaleur dégagée par le gaz est véritablement insupportable. Ajoutons comme corollaire de cet avantage que, n'empruntant à l'air ambiant qu'une très faible partie de son oxygène, — celui qui est nécessaire à la combustion des charbons, — elle ne vicie pas l'atmosphère. Pour le percement des longues galeries souterraines, son emploi est tout dicté lorsque, dans un avenir peu éloigné, on aura pu créer de *petits foyers*, par l'incandescence pure, par exemple. Dans cette application, l'économie de force motrice ne joue qu'un rôle relativement secondaire puisque l'on utilise, le plus souvent, des forces naturelles, et qu'on laisse échapper, pour la ventilation des galeries, plus d'air comprimé que n'en consommeraient les machines électro-dynamiques nécessaires à l'entretien de ces foyers divisés.

Un autre avantage de la lumière électrique, — avantage contesté néanmoins par un grand nombre de personnes impartiales, — est sa coloration, qui permet de conserver aux couleurs toutes leurs nuances, et de différencier les teintes les plus voisines. Le contraste seul lui donne cet aspect blafard dont on l'accuse, et on n'a qu'à regarder simultanément un bec de gaz et une bougie Jablochkoff par exemple, pour voir combien le reproche est mal fondé ; le seul coupable est le gaz dont la lumière est d'une couleur jaune très prononcée, mais notre œil est si habitué à cette lumière colorée que la lumière électrique qui, comme celle du soleil, renferme toutes les couleurs du spectre, nous paraît pauvre parce qu'elle est au contraire trop riche et pèche par excès de qualités.

Ajoutons, comme avantages non moins importants, que la lumière électrique ne répand pas d'odeur, nous met à l'abri des explosions, diminue dans une grande proportion les chances d'incendie, permet d'éclairer des espaces très éloignés du lieu de sa production, — avantage que le gaz présente dans des proportions au moins aussi grandes, — et peut, lorsqu'on ne fait pas un éclairage *direct*, mais un éclairage par *réflexion*,

Digitized by Google

répandre autour d'elle une splendide lumière diffuse qui lutte avec avantage, au point de vue de l'économie, avec celle du gaz.

Passons maintenant aux inconvénients. Le premier que nous voulions signaler, parce qu'il n'est qu'à titre transitoire et disparaît à mesure que les appareils se perfectionnent, provient du *manque de fixité* de la lumière, soit comme intensité, soit comme coloration.

Avec les appareils que nous avons décrits dans cet ouvrage, on obtient une constance très grande lorsqu'ils sont bien construits et bien réglés : les régulateurs Serrin et les régulateurs différentiels présentent toute la fixité nécessaire ; quant aux bougies, les changements de coloration et d'intensité sont dus à ce que, dans ces appareils, comme nous l'avons dit chapitre II, on a sacrifié la *qualité* de la lumière à la *simplicité* et à la *rusticité* du foyer. L'inconvénient provenant des extinctions de courte durée dues à la rupture de l'arc, ou de durée plus longue dues à des causes accidentelles, disparaît de jour en jour, à mesure que le personnel devient plus habile dans le maniement des appareils et des lampes.

On peut reprocher aussi à certains foyers électriques un bruit souvent très fatigant qui en proscrit l'emploi dans des locaux silencieux et exigus. Ce bruit particulier ne peut être que très atténué dans les bougies et les régulateurs qui emploient les *courants alternatifs*, mais ne peut disparaître complètement ; il provient de la nature même de ces courants et ne sera évité que par les *courants continus*, dont l'emploi est d'ailleurs bien plus général dans les applications électriques.

Nous avons réservé pour la fin les objections les plus graves contre l'emploi de l'éclairage électrique.

La pile hydro-électrique n'étant pas un appareil pratique et économique pour cette application, la pile thermo-électrique étant encore dans la période d'expériences, on ne peut employer, pour produire le courant, que les machines électro-dynamiques, ce qui oblige, la plupart du temps, à installer un moteur à vapeur ou à gaz, et amène à sa suite tous les incon-

Digitized by Google

vénients propres à ces appareils, chauffeur, mécanicien, entretien des machines, mise en marche, etc., etc.

Voilà l'inconvénient le plus grave, et en réalité le seul sérieux. Il disparaît néanmoins dans certaines usines où l'on emprunte la force motrice à la transmission générale. Dans ce cas, l'éclairage électrique ne présente au contraire que des avantages. Dans d'autres, on a fait en petit ce qu'ont fait en grand les compagnies du gaz. On a créé de véritables *usines électriques*, dont l'Hippodrome de Paris nous offre le modèle le plus remarquable à tous égards. Les magasins du Louvre ont aussi leur usine électrique, il en est de même pour l'éclairage électrique du Salon de peinture et pour celui de l'avenue de l'Opéra. La solution de cette question si difficile ne se trouve-t-elle pas dans la création d'*usines centrales d'électricité* distribuant le courant électrique dans des conditions analogues à celles du gaz ? Le problème est séduisant, il offre un certain avenir et nous croyons savoir que sa solution est poursuivie de plusieurs côtés à la fois. En attendant sa réalisation peut-être encore lointaine, les avantages de la lumière électrique sont si caractérisés, qu'on a passé outre sur ce grave inconvénient. Machines à vapeur, moteurs à gaz, moteurs hydrauliques sont aujourd'hui employés spécialement et *exclusivement* pour l'éclairage électrique : leur nombre s'accroît chaque jour, ce qui est la meilleure preuve qu'on puisse invoquer en faveur de cet éclairage.

Restent les questions du prix de revient et de la division des foyers que nous allons maintenant examiner.

Prix de revient de la lumière électrique. — Rien n'est plus variable que le prix de revient de la lumière électrique. L'on nous a souvent demandé si l'électricité coûtait moins cher que le gaz et l'on s'est étonné de notre embarras pour répondre à cette question. Suivant les cas, l'électricité peut coûter dix fois moins que le gaz, et dans d'autres, au contraire, dix fois plus : nous en citerons quelques exemples.

Dans une usine qui dispose d'une force motrice à vapeur ou hydraulique, il ne coûte presque rien de prendre quelques che-

Digitized by Google

vaux sur l'arbre de transmission et de les employer à mettre en mouvement une machine Gramme, par exemple, alimentant soit un régulateur Serrin, soit une série de lampes à incandescence. La dépense dans ce cas se réduit presque uniquement à l'amortissement de la machine et des lampes, et à la combustion des charbons. Dans ces conditions, l'éclairage électrique, s'il est bien combiné, est à tous les points de vue supérieur au gaz. Pour les mêmes raisons, il sera économique de l'employer à bord des navires où la vapeur ne fait jamais défaut, l'éclairage à l'huile et à la bougie étant relativement très dispendieux. Si, en poussant les choses à l'extrême, on installe au contraire une machine à vapeur locomobile pour une seule machine Gramme et un foyer unique, la dépense se trouve hors de proportion avec le résultat, l'amortissement, la surveillance et l'entretien sont considérables, et le gaz reprend haut la main tous ses avantages.

En multipliant le nombre des foyers alimentés par une machine motrice unique, la disproportion s'efface peu à peu, et lorsqu'on crée, comme au Louvre et à l'Hippodrome de Paris, une puissante usine électrique, l'économie reparaît de nouveau.

Si l'on a recours aux piles, — la pile Bunsen est jusqu'à présent la seule qui ait reçu des applications à l'éclairage, — le prix de revient devient énorme; il atteint 3 francs par heure pour 60 éléments, sans compter la main-d'œuvre, d'après les expériences de Becquerel. La pile n'est plus aujourd'hui employée que dans les cours, les conférences et chez quelques expérimentateurs qui ne peuvent, pour des raisons diverses, installer une machine à vapeur ou à gaz. On se sert encore des piles Bunsen à l'Opéra parce que, dans la construction première, on n'avait pas prévu l'installation d'un moteur dans le monument, mais tôt ou tard cette anomalie disparaîtra.

Les moteurs à gaz, employés dans une certaine mesure, ont rendu l'éclairage électrique économique à cause de leur facilité de mise en marche et d'arrêt et parce qu'ils ne consomment que lorsqu'ils travaillent. Citons, comme exemple, la photographie à l'électricité.

Digitized by Google

Si le bec de gaz est un appareil d'éclairage simple et commode, il faut avouer que son rendement lumineux est détestable. En brûlant directement 4 mètres cubes de gaz on peut produire 40 becs Carcel *au plus*. En dépensant cette même quantité de gaz dans un moteur Otto, on produirait une force de quatre chevaux-vapeur qui, transformée en électricité par une machine Gramme et en lumière par un régulateur Serrin, fournirait une puissance lumineuse de plus de 300 becs Carcel, tout en dégageant 150 fois moins de chaleur.

Ces chiffres montrent que si les becs de gaz divisent la lumière, ils ne le font pas sans une certaine perte et sans un gaspillage fort important dont on ne tient généralement pas assez compte dans les comparaisons.

D'après M. Picou, dont les appréciations nous paraissent fort exactes, une lampe Serrin alimentée par une machine de Gramme peut éclairer 250 à 500 mètres carrés d'un atelier où se font des travaux minutieux, de 500 à 1,000 mètres carrés d'un atelier d'ajustage ou de mécanique et 2,000 mètres carrés d'un chantier.

Le capital engagé par cette installation serait de 2,300 francs et la dépense par heure — en supposant 500 heures d'éclairage par an, se répartirait ainsi :

Charbon à lumière	0fr,21
Charbon pour force motrice	0 ,15
Entretien et surveillance	0 ,10
Amortissement de 2,300 fr. pour 500 heures	0 ,46
Total	0 ,92

Si l'on éclaire toutes les nuits, c'est-à-dire 4,000 heures par an, le prix s'abaisse à 53 centimes. Avec un moteur hydraulique on ne dépense plus que 0fr,77 pour un éclairage de 500 heures et 0fr,38 pour un éclairage de 4,000 heures.

Nous avons donné ces chiffres seulement à titre d'indication, car ils varient à l'infini avec les conditions particulières à chaque installation.

Digitized by Google

La division de la lumière. — Les développements de la lumière électrique, depuis quelques années, sont considérables; ils sont cependant de peu d'importance comparés à ceux que l'avenir leur réserve : ces développements sont liés à la question aujourd'hui à l'ordre du jour, et déjà en partie résolue, la *division de la lumière.*

Il est évident, en effet, que si l'on parvient à créer de petits foyers électriques économiques, et, d'un autre côté, si l'on installe des usines électriques distribuant le courant là où il est nécessaire, et en toutes quantités, comme le fait aujourd'hui le gaz, on aura du coup éliminé les inconvénients de l'éclairage électrique pour ne plus laisser subsister que ses avantages.

Il n'y a aucune témérité à prévoir la réalisation de cette révolution industrielle ; la multiplicité même des solutions proposées montre qu'elle est possible quoique difficile, les intéressants résultats déjà obtenus indiquent qu'elle sera prochaine. Les progrès à réaliser sont de deux ordres très différents. Il faut en effet étudier d'une part la division du courant et d'autre part la bonne utilisation de ce courant avec des foyers convenablement appropriés. La tendance actuelle est, constatons-le avec plaisir, de ne plus séparer ces deux ordres de recherches, et la plupart des inventeurs complètent leur œuvre en étudiant des machines dont les qualités spéciales s'accordent bien avec celles qu'exigent leurs foyers.

C'est ainsi, par exemple, que la bougie Jablochkoff, qui fonctionnait d'abord avec les machines de l'Alliance, emploie aujourd'hui presque exclusivement les machines Gramme à courants alternatifs, et cette application est un cas de division des plus remarquables que nous puissions citer, puisqu'*une* seule machine peut, suivant ses dimensions, alimenter de *quatre* à *soixante* bougies disposées dans ce dernier cas en douze séries de cinq bougies chacune.

Les courants alternatifs des machines Lontin alimentent jusqu'à *douze* régulateurs de Mersanne, les machines Siemens entretiennent vingt foyers disposés sur deux circuits seulement. Les

Digitized by Google

bougies Wilde et Jamin, les lampes Rapieff, Gérard, etc., fournissent des résultats analogues, au point de vue de la division.

Les machines à courants continus permettent aussi le fractionnement des foyers, soit avec l'arc voltaïque, soit par l'incandescence.

La machine Brush alimente *seize* régulateurs montés *en tension* sur le même circuit. C'est le résultat le plus remarquable qu'on ait obtenu jusqu'ici au point de vue du nombre des appareils à *arc voltaïque* disposés sur un seul circuit. Tous les régulateurs différentiels permettent d'ailleurs cette division, à la condition que le courant fourni par la machine ait assez de tension pour franchir les résistances que ces arcs présentent.

Avec l'éclairage par incandescence, on obtient des résultats de division encore plus remarquables. Une machine Gramme d'atelier (type A) alimente facilement douze lampes Reynier en un seul circuit ou douze lampes Werdermann en deux circuits de six lampes chacun. En poussant la division encore plus loin, les spirales de platine iridié, rendues incandescentes et lumineuses par le passage du courant, permettent un fractionnement pour ainsi dire illimité. A la vérité un tel éclairage ne pourrait être considéré jusqu'ici que comme un éclairage absolument *fastueux* et d'une application fort restreinte, mais le dernier mot n'est pas dit sur ce procédé, et le maximum d'utilisation est loin d'être atteint.

Les méthodes employées jusqu'ici pour la division des foyers font défaut par un point qu'il importe de signaler : elles ne réalisent pas, en général, une des conditions essentielles d'un éclairage absolument divisé, il leur manque l'indépendance des foyers alimentés par une source donnée : l'extinction d'une bougie Jablochkoff, par exemple, provoque celle de toutes les autres placées dans le même circuit; l'extinction ou l'allumage voulu d'un foyer influe sur tous les autres pour accroître ou diminuer l'intensité lumineuse.

L'arc voltaïque ne permet pas non plus une graduation convenable de la lumière; il faut en effet, pour entretenir un arc

Digitized by Google

voltaïque, une certaine *tension* minimum et un *volume* d'électricité, dépendant de la grosseur des charbons, au-dessous desquels l'arc s'éteint complètement. Il semble donc bien établi aujourd'hui que la division de la lumière par petits foyers est réservée, malgré son prix relativement plus élevé, à l'incandescence du charbon ou de toute autre substance pouvant jouer un rôle analogue.

Quant à la division du courant faite dans des conditions de nature à donner à toutes les lampes alimentées par une même source électrique une indépendance absolue, elle pourra se faire très aisément avec les machines et les principes connus, à la condition de placer les appareils dans des conditions tout autres qu'on ne l'a fait jusqu'ici. Si l'on veut bien se reporter à ce que nous avons dit sur le mode d'excitation des inducteurs des machines dynamo-électriques à courant continu, on verra que les éléments de la circulation électrique, tension et quantité, sont très variables avec la résistance du circuit.

Il en résulte tout naturellement que tout changement apporté dans cette résistance, par l'augmentation ou la diminution du nombre des appareils alimentés, réagit aussitôt sur la source électrique, apporte une perturbation dans les rapports des facteurs et influe sur tous les autres foyers. Il faut donc disposer la source électrique dans des conditions telles que ces réactions nuisibles ne puissent plus s'exercer. Cela est possible à l'aide de dispositions dont nous ne pouvons qu'indiquer le principe par une comparaison. Concevons un grand bassin rempli d'eau devant distribuer de l'eau dans une ville par un grand nombre de tuyaux de plus faible section. Pour obtenir dans chacun de ces tuyaux un écoulement constant, quel que soit le débit de tous les autres, nous allons disposer ce bassin dans des conditions spéciales. Nous lui donnerons d'abord une large surface pour éviter des dénivellations brusques qui se traduiraient par des changements de pression et de débit dans les conduites rayonnantes. Nous disposerons ensuite le canal qui alimente ce bassin dans des conditions telles que la quantité d'eau fournie soit toujours

Digitized by Google

égale à celle dépensée pour maintenir toujours le même niveau. Enfin, vérité digne de la Palisse, on fera en sorte que, dans le cas où tous les tuyaux de débit seraient ouverts *en même temps*, la somme d'eau répartie par la ville ne soit pas plus grande que celle fournie par le bassin dont le niveau baisserait aussitôt. Voilà les conditions principales à réaliser, et toutes sont réalisables.

Il faut pour cela que la source électrique, — notre réservoir de tout à l'heure, — conserve toujours la même tension au courant *dans la partie extérieure du circuit*, pour que les circuits dérivés, — les tuyaux de branchement, — débitent toujours la même quantité de courant, quel que soit le nombre des circuits alimentés; la force motrice doit aussi proportionner son travail à la dépense, comme le fait notre canal d'alimentation.

Pour obtenir cette tension toujours égale, il faut employer une machine ou une série de machines dynamo-électriques disposées dans des conditions telles que la tension utilisée, soit *constante*, ce résultat sera obtenu en employant des inducteurs séparés : il faut ensuite que le nombre des dérivations établies ne fasse pas varier le débit sur chaque circuit, ce qui veut dire qu'il faut donner au générateur une très faible résistance intérieure, en employant, par exemple, plusieurs machines semblables tournant à la même vitesse et couplées *en dérivation* comme on couple les piles *en quantité*, et enfin *régler le débit* électrique de ces machines, en proportion de la dépense.

En se plaçant dans ces conditions rationnelles, que nous ne pouvons qu'ébaucher ici, on réalisera en pratique la *division réelle* de la lumière avec une indépendance absolue des foyers, et une fixité parfaite, puisque l'intensité du courant fourni dans chaque circuit sera constante.

Nous pouvons, sans trop présumer de l'avenir, prédire un grand succès à ceux qui voudront s'engager dans cette voie si féconde et si importante du *fractionnement de la lumière et du courant électriques*. On peut tout attendre d'une application toute nouvelle dont le passé est déjà si brillant.

Digitized by Google

TROISIÈME PARTIE

TÉLÉPHONES ET MICROPHONES

On désigne sous le nom général de *téléphone* tout appareil permettant de transmettre à distance un son quelconque, mélodie, bruit, chant, voix humaine, etc.

On peut cependant, avec M. Preece, diviser ces appareils en deux grandes classes, eu égard aux résultats obtenus :

1° Les *téléphones musicaux* (*tone telephone*) sont les instruments employés pour la transmission des sons mélodiques ;

2° Les *téléphones d'articulation* (*articulating telephone*), ou téléphones proprement dits, sont ceux employés pour la transmission de la voix humaine.

Les microphones, comme nous le verrons plus tard, se rangent tout naturellement dans les téléphones et il n'y a pas lieu d'en faire une classe distincte.

Comme les téléphones musicaux sont les premiers dans l'ordre historique, qu'ils sont les plus simples, c'est par eux que nous commencerons l'étude des appareils téléphoniques.

Dans un chapitre spécial, nous étudierons quelques appareils téléphoniques dans lesquels le transmetteur, le récepteur, et quelquefois même la ligne, se présentent dans des conditions si singulières qu'on ne pourrait leur trouver une place bien définie dans une classification méthodique.

Digitized by Google

CHAPITRE I

TÉLÉPHONES MUSICAUX

C'est à l'année 1837 qu'il faut faire remonter le principe des téléphones musicaux. A cette époque, un physicien américain, *Page*, découvrit que la rapide aimantation et désaimantation de barres de fer produisait ce qu'il appelait de la *musique galvanique*. Le son émis par la barre de fer dépendait du nombre d'aimantations et de désaimantations produites dans une seconde. Il en fallait au moins seize pour produire un son distinct.

Ces effets furent soigneusement étudiés par un grand nombre de physiciens. De la Rive, de Genève, en 1843, augmenta les effets des *vibrations de Page*, — comme on désigne quelquefois ce phénomène, — en employant des fils de grande longueur placés dans des bobines.

Plus tard, *Sullivan* découvrit que la vibration d'un fil composé de deux métaux engendrait un courant électrique qui durait autant que la vibration elle-même, mais cette découverte ne reçut aucune application pratique et serait tombée dans l'oubli sans les recherches de M. *Bell* au moment où il prépara l'historique des travaux antérieurs à sa merveilleuse invention. En 1855, M. *Léon Scott*, *de Martinville*, imagina un appareil auquel il donna le nom de *phonautographe*, qui se composait en principe d'une peau tendue vibrant sous l'influence de la voix, du chant, d'un bruit quelconque. Cet appareil était destiné à

Digitized by Google

l'inscription *graphique* des vibrations. C'est l'origine de la plaque vibrante du téléphone.

Téléphone musical de M. Reiss. — En 1860, M. Reiss imagina un appareil permettant de faire parvenir à de grandes distances la mélodie qui ne devait être entendue qu'en un lieu déterminé.

Cet appareil est une combinaison heureuse des vibrations de Page et de la membrane du phonautographe de Scott. Le dispositif adopté par M. Reiss est représenté dans les deux figures ci-après. La figure 82 montre l'appareil de transmission, la figure 83 celui de réception. A la station où est joué l'air musical (fig. 82), un gros tube T débouchant dans une boîte K reçoit les vibrations de l'air produites par l'instrument. La boîte a pour effet de recueillir et de renforcer le son. A la partie supérieure est tendue une membrane *m* qui vibre à l'unisson des ébranlements qu'elle reçoit. Pour transformer les mouvements de cette membrane en des émissions et des interruptions cadencées d'un courant électrique, il suffit d'établir un jeu de communications facile à concevoir.

Supposons qu'une pile, dont l'un des pôles est la terre, soit attachée par l'autre électrode avec le bouton marqué 2 sur la figure ; de là, un conduit métallique formé par une mince lame de cuivre *i* et aboutissant à un disque de platine *o* amène le courant en face d'une pointe portée par le levier *abc*. Chaque fois que la membrane *m* sera soulevée, la pointe touchant le disque, le courant sera établi ; il sera interrompu au contraire lorsque la membrane reviendra au repos.

On a représenté la boîte K coupée à la partie supérieure, afin de montrer le détail de la membrane et de la communication électrique qui répète les vibrations.

Pour transmettre à une distance quelconque, 100, 200, 500 kilomètres, le courant électrique, il faut une ligne partant du bouton 1 (fig. 82) et rattachée au bouton 3 (fig. 83), qui représente l'appareil de réception. Ce dernier est constitué par une tige de fer *dd* autour de laquelle sont enroulées des spires de fil de cuivre

Digitized by Google

isolées les unes des autres, une des extrémités du fil aboutit au bouton 3 et l'autre à la terre par la vis 4 afin de compléter le circuit de la pile du poste de départ.

La tige *dd* a la dimension d'une aiguille à tricoter ; la bobine *g*, constituée par l'assemblage du fil enroulé et de la tige, est portée sur une boîte creuse B dont les parois sont très minces. Au-dessus est un couvercle D ; l'ensemble de ce dispositif a pour but de renforcer les vibrations qui produisent les interruptions successives du courant à travers la tige *dd*. On les perçoit ainsi

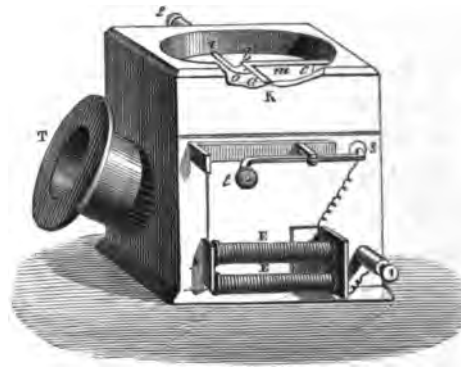


Fig. 82. — Appareil transmetteur du téléphone Reiss.

K, boîte pour recueillir les vibrations; — *m*, membrane de caoutchouc fermant la boîte (on a découpé la partie supérieure de la boîte); — *o*, disque de platine collé sur la membrane; — *abc*, levier mobile, portant par la pointe sur la membrane; — *ts*, clefs de manipulation pour la correspondance; — EE, électro-aimant récepteur, pour la correspondance; — 2, 1, vis de pression pour attacher les fils de communication avec la pile et avec la ligne; — T, embouchure.

plus nettement par l'artifice qui augmente l'intensité des notes données par les cordes d'un piano, lorsque la caisse a une résonance convenable.

Ce qui est remarquable dans ce système, c'est que les vibrations de la tige *dd* sont exactement synchrones avec celles de la membrane *m* et par suite avec celles de l'instrument dont l'air a été joué dans la tubulure T. Non seulement la mesure est indiquée, mais la tonalité aussi ; les deux éléments qui composent la mélodie, hauteur du son et intervalle des notes, tout se trouve reproduit automatiquement, sans erreur possible.

Digitized by Google

Pour compléter la description, nous devons ajouter qu'il y a sur la figure 82 un levier *ts* et un électro-aimant EE; ce sont les organes ordinaires d'un télégraphe Morse (manipulateur et récepteur), qui servent à établir l'entente préalable entre les deux correspondants.

De même sur la figure 83, on voit encore le levier de manipulation, il y a aussi un récepteur qui n'est pas représenté sur le dessin. Nous n'insistons pas sur l'établissement de la communication ; la pile de l'instrument musical sert également à l'échange des signaux conventionnels.

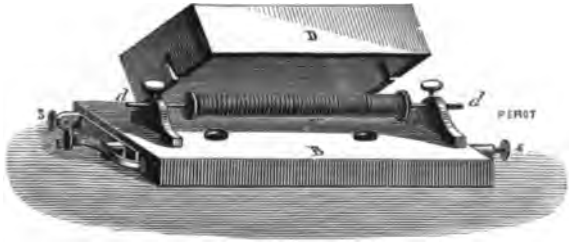


Fig. 83. — Appareil récepteur du téléphone Reiss.

B, boite pour renforcer les vibrations; — D, couvercle de cette boite; — *dd*, fil de fer vibrant par le passage du courant; — *q*, bobine à travers laquelle passe le courant; *t's'*, clef de manipulation pour la correspondance; — 1,2, 3, vis de pression pour attacher les fils de communication avec la pile et avec la ligne.

Pour donner au téléphone toute sa valeur, il faut étudier la forme à donner à la boîte K ; les meilleures dispositions trouvées jusqu'à présent consistent à recourber les parois afin d'amplifier l'effet sur la membrane par des réflexions successives. On a réussi aussi à augmenter la puissance du récepteur en introduisant dans la bobine plusieurs tiges de fer; le son, primitivement nasillard, a acquis ainsi un timbre plus agréable.

L'appareil de M. Reiss que nous venons de décrire fut successivement perfectionné par M. *Yeates*, M. *Van der Weyde*, MM. *Cécil et Léonard Wray*, tout en restant cependant un appareil purement musical.

Téléphone de M. Élisha Gray. — L'appareil imaginé par M. Élisha Gray, de Chicago, en 1874, n'est autre chose qu'un

Digitized by Google

téléphone musical du même genre que celui de Reiss, mais disposé plus spécialement pour les transmissions multiples télégraphiques, recherches poursuivies simultanément par MM. *Bell*, *Gray*, *Édison* et *Varley*, et qui ont conduit à la découverte merveilleuse des téléphones d'articulation.

Le téléphone de M. Gray se distingue de ses devanciers par l'application au récepteur du *résonnateur* d'Hemholtz.

Le résonnateur agit en vertu de ce principe, qu'un volume d'air contenu dans un vase ouvert émet une certaine note quand il est mis en vibration. La hauteur de cette note dépend de la dimension du vase et de celle de l'ouverture.

Si l'on approche de l'oreille un résonnateur lorsque des sons musicaux sont produits dans l'air ambiant, on constate que celui des sons en accord avec la note fondamentale de l'instrument se trouve renforcé et perçu distinctement parmi tous les autres.

Avec une série de ces globes gradués chacun de façon à correspondre à une note spéciale, on analyse des sons composés et on les résout ainsi en leurs éléments. Au départ, le musicien joue l'air en appuyant sur les touches d'un clavier de seize notes ; ces touches sont liées chacune à une languette vibrante distincte donnant la note qui correspond à la touche.

La figure 84 représente la disposition d'une de ces languettes A vibrant entre les bobines BB. Lorsqu'elle est à droite par exemple, le courant cesse de passer dans l'électro-aimant de droite et passe dans celui de gauche qui l'attire ; au moment où la languette est arrivée à gauche, le courant passe de nouveau dans l'électro-aimant de droite, et ainsi de suite. La languette métallique exécute ainsi des oscillations rapides dont le nombre ne dépend que de sa longueur. Il y a au-dessus du clavier seize pièces analogues à celles de la figure 84 ; la longueur des languettes de chacune d'elles est calculée pour donner toutes les notes de deux octaves. Chaque fois qu'une clef est abaissée, les courants électriques font vibrer la languette métallique correspondante.

Voilà l'air musical produit par le courant électrique local. A mesure que les languettes vibrent au départ, elles ouvrent et fer-

Digitized by Google

ment un courant de ligne, mais tous ces courants interrompus *passent par un fil unique* pour arriver au récepteur placé à distance. Il faut donc les démêler à l'arrivée par une intervention nouvelle, dont le principe est basé sur le résonnateur d'Helm-

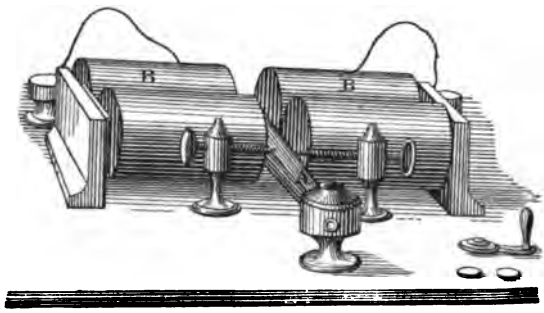


Fig. 84. — Appareil de vibration du téléphone musical de M. Gray. Transmetteur.

holtz. Le récepteur se compose d'une série de résonnateurs E (fig. 85) sur lesquels sont disposés des électro-aimants C dont l'armature est constituée, pour chacun d'eux, d'un ruban d'acier D accordé pour vibrer à la hauteur même du résonnateur.

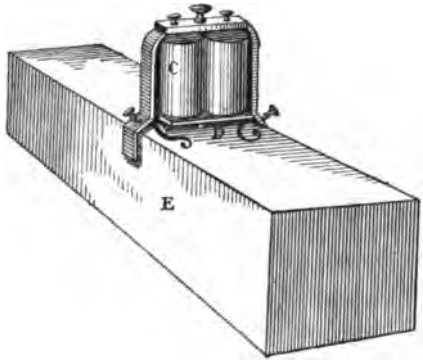


Fig. 85. — Résonnateur du téléphone musical de M. Gray. Récepteur.

Il y a seize résonnateurs analogues tous en relation avec le fil de ligne. Chacun de ces récepteurs partiels a, par sa disposition même, une sorte de pouvoir de *sélection ;* chacun s'approprie, retient la vibration à l'unisson avec son résonnateur et n'est

Digitized by Google

pas influencé par les autres. Les ondes électriques produites à Philadelphie par les vibrations de la languette métallique accordée à la note *ut*, par exemple, traverseront tous les récepteurs de New-York, mais elles ne font vibrer que l'appareil accordé avec la note *ut*.

La figure 86 représente le clavier du téléphone musical manœuvré à Philadelphie. A *New-York*, on voit l'appareil ré-

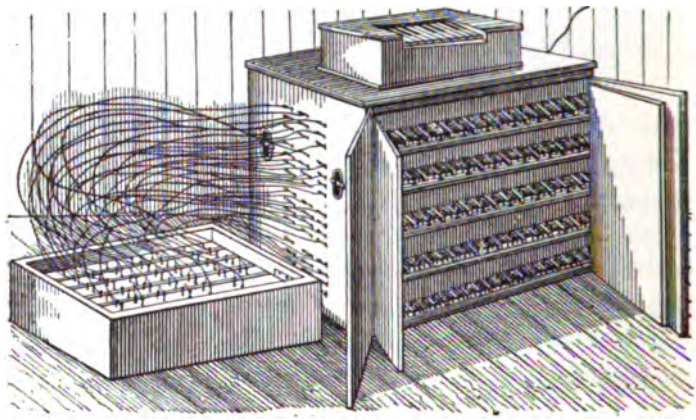


Fig. 86. — Clavier du téléphone de M. Gray manœuvré à Philadelphie.

cepteur (fig. 87) avec les seize résonnateurs disposés verticalement.

Tous ces appareils, malgré l'intérêt qu'ils présentent, furent bientôt dépassés par le téléphone d'articulation que nous allons maintenant étudier, mais nous devons signaler encore un appareil assez original par la forme de son récepteur et qui rentre, par la nature des résultats qu'il produit, dans la classe des téléphones musicaux. Nous voulons parler du condensateur chantant.

Condensateur chantant. — Le principe de cet appareil est dû à M. Varley, qui le découvrit dès 1870, mais il a été combiné d'une manière très simple par MM. *Pollard et Garnier* qui lui ont donné une forme pratique.

Le récepteur se compose d'un condensateur formé de trente

Digitized by Google

feuilles de papier superposées, de 9 centimètres sur 13, entre lesquelles sont intercalées vingt-huit feuilles d'étain de 6 centimètres sur 12, réunies de manière à constituer les deux armatures du condensateur. A cet effet les feuilles paires sont réunies ensemble à l'un des bouts du cahier de papier et les feuilles impaires à l'autre bout. En appliquant ce système sur un carton rigide, après avoir eu soin de le ligaturer avec une bande de papier, et en serrant les feuilles d'étain réunies aux deux bouts du condensateur avec deux garnitures de cuivre, munies de boutons d'attache pour les fils du circuit, on obtient ainsi un appareil qui joue le rôle d'un véritable chanteur. Un poids assez lourd, placé sur le condensateur pour serrer les lames, n'arrête nullement son fonctionnement ; il en affaiblit seulement les sons qui deviennent alors plus harmonieux, ce qui rend douteuse l'hypothèse de mouvements attractifs des lames, qu'on avait émise dans l'origine pour expliquer ces effets.

L'appareil transmetteur se compose d'une sorte de téléphone sans manche, dont la lame vibrante est constituée par une lame de fer-blanc très mince, au centre de laquelle est soudé un morceau cylindrique de charbon, et contre ce charbon appuie un autre cylindre de la même matière, qui est porté par une traverse de bois, articulée d'un côté sur le bord inférieur de la boîte du téléphone et fixée, de l'autre côté, sur le bord opposé de la boîte au moyen d'une vis de réglage. Un ressort arqué (un bout de ressort de pendule), placé en travers de cette pièce, lui donne une certaine élasticité sous son serrage : cette élasticité est nécessaire pour le fonctionnement de l'appareil.

La lame de fer est mise en rapport avec l'un des pôles d'une pile, et le charbon inférieur correspond à l'hélice primaire d'une bobine d'induction déjà reliée au second pôle de la pile. Enfin, les deux bouts de l'hélice secondaire de la bobine sont reliés directement aux deux armatures du condensateur.

Cette hélice secondaire doit être constituée par vingt couches de fil du n° 32 ou mieux du n° 42, recouvert de soie ; et l'hélice primaire est formée par quatre couches de fil du n° 16. La lon-

Digitized by Google

gueur de la bobine ne doit pas dépasser 7 centimètres, et le diamètre du noyau de fils de fer fins doit être d'environ 1 centimètre.

Pour obtenir le chant sur le condensateur, il faut régler le transmetteur de manière que les deux charbons ne se touchent pas à l'état normal, mais soient assez près l'un de l'autre pour que, en chantant, les vibrations de la plaque puissent effectuer des contacts suffisants. On arrive facilement à ce réglage par le tâtonnement et en émettant une même note jusqu'à ce que le condensateur résonne. Si trois notes faites successivement sont bien reproduites, l'appareil peut être considéré comme suffisamment réglé, et pour le faire fonctionner il suffit d'enfoncer la bouche dans l'embouchure, comme on le fait quand on chante dans un mirliton. Il faut, pour obtenir un bon résultat, que l'on entende la lame de l'appareil vibrer à la manière des flûtes à l'oignon. Au lieu des charbons, on peut employer des contacts de platine.

M. *Janssens* a construit un modèle de condensateur chantant dans lequel le parleur a la forme d'un téléphone Bell ; la bobine est logée dans le manche, ce qui rend l'appareil très portatif et peu encombrant. Tous les téléphones musicaux ne sont plus considérés aujourd'hui que comme des objets de curiosité ou des appareils de cabinets de physique ; aussi ne nous y arrêterons-nous pas davantage, mais il était utile de leur consacrer quelques pages, car ils ont devancé, et en quelque sorte, préparé la découverte des téléphones d'articulation.

Digitized by Google

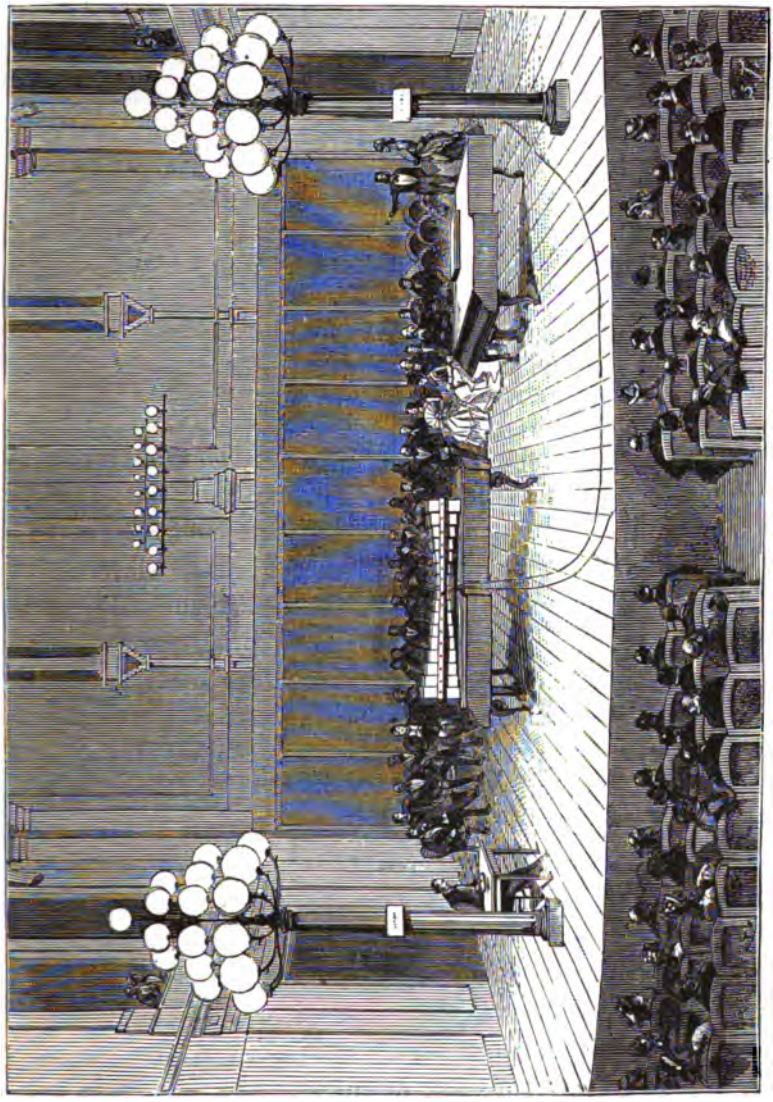


Fig. 87. — Expérience du téléphone musical de M. Gray. Audition à New-York des sons produits à Philadelphie.

Digitized by Google

CHAPITRE II

TÉLÉPHONES D'ARTICULATION

OU TÉLÉPHONES PARLANTS

C'est l'admirable appareil du professeur *Graham Bell* qui a résolu le premier, par des procédés d'une merveilleuse simplicité, le problème de la transmission électrique de la parole à distance. Le téléphone de *Bell*, breveté par son inventeur le 14 février 1876, a paru pour la première fois à l'exposition de Philadelphie, et le célèbre physicien anglais, sir William Thomson, à une époque où l'invention rencontrait bien des incrédules, a signalé l'appareil de M. *Bell*, en le désignant sous le nom de *merveille des merveilles*. Avant d'analyser les travaux qui ont conduit M. Bell à sa découverte, il convient de passer rapidement en revue les travaux antérieurs et l'état de la question au moment où l'heureux inventeur poursuivait ses recherches.

Téléphone à ficelle. — Si nous laissons de côté les tuyaux acoustiques qui ne constituent en quelque sorte qu'une canalisation de la voix humaine dans un tuyau, le premier téléphone digne de ce nom est le *téléphone à ficelle* dont l'invention remonte à plus de deux siècles déjà.

Comme nous le verrons par la suite, le problème de la téléphonie se résume en ceci : Faire vibrer synchroniquement, par un moyen quelconque, deux objets placés à une certaine distance.

Le moyen le plus simple est de prendre deux tubes cylindri-

Digitized by Google

ques en métal ou en carton, de disposer à une des extrémités de chacun d'eux une membrane en papier, parchemin ou carton mince et de relier les deux lames vibrantes ainsi constituées par une ficelle fixée au centre par un nœud.

Lorsque la ficelle qui réunit les deux parties est bien tendue, qu'elle n'est pas trop longue, si l'on applique l'un des tubes contre l'oreille et qu'une seconde personne parle très près de l'embouchure de l'autre tube, toutes les paroles sont transmises par la ficelle à la membrane du récepteur, et l'on peut converser presque à voix basse par ce moyen.

Il y a ainsi transmission *mécanique* des vibrations et mouvement synchronique des deux membranes.

La parole peut ainsi être transmise jusqu'à deux cents mètres. M. *Huntley*, en employant des diaphragmes en fer très mince et en isolant le fil sur des supports de verre, a pu parler jusqu'à 2,450 pieds (plus de sept cents mètres), malgré les zigzags de la ligne. Les téléphones à ficelle sont restés longtemps dans l'oubli et n'ont été remis à la mode que pendant ces dernières années.

C'est M. *Charles Bourseul* qui émit pour la première fois, en 1854, l'idée de transmettre électriquement la parole à distance, et M. le comte du Moncel déclare, dans son ouvrage sur le téléphone, que cette idée fut regardée comme un rêve fantastique.

Depuis la note de M. Bourseul, jusqu'au téléphone de M. Bell qui parut pour la première fois à l'Exposition de Philadelphie en 1876, la plupart des recherches aboutissent à la création des téléphones musicaux. Les recherches de Helmholtz sur la synthèse des sons ouvrirent la voie aux téléphones d'articulation.

Nul d'ailleurs n'était mieux préparé que M. *Graham Bell* pour entreprendre cette étude et l'amener au but avec le succès que l'on sait ; car l'invention du téléphone est le résultat d'une longue suite de travaux que M. Graham Bell partageait déjà avec son père M. *Alexandre Melville Bell*, d'Édimbourg. Il commença par l'étude des sons des voyelles, fit des expériences parallèles à celles d'Helmholtz sur la reproduction artificielle des voyelles au moyen de diapasons électriques, combina un harmonica élec-

Digitized by Google

trique à clavier, un Morse à audition ou *sounder*, et enfin se livra tout entier à l'étude de la reproduction électrique de la parole. L'ensemble des recherches de M. Graham Bell sur le téléphone a fait l'objet d'un mémoire que l'auteur a lu devant la Société des ingénieurs télégraphistes de Londres, le 31 octobre 1877. Il a été reproduit *in extenso* dans *la Nature* (avril 1878).

Après avoir exposé avec une remarquable impartialité l'ensemble des recherches antérieures faites dans la même direction par ses prédécesseurs et des considérations générales sur les cou-

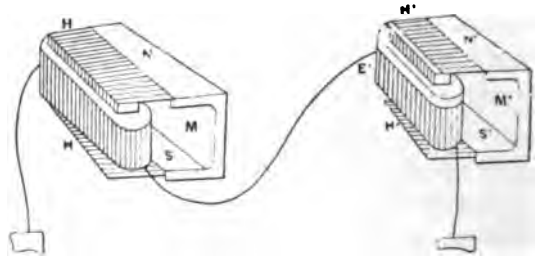


Fig. 88. — Première forme du téléphone articulé de M. Bell.

rants ondulatoires qui ne sauraient trouver place ici, l'inventeur expose ainsi la première forme de téléphone qu'il avait imaginée:

L'appareil représenté figure 88 fut ma première forme de téléphone articulé. Dans cette figure, une harpe à tiges d'acier est attachée aux pôles d'un aimant permanent NS. Lorsque l'une quelconque des tiges est mise en vibration, un courant ondulatoire est produit dans les bobines de l'électro-aimant; l'électro-aimant correspondant E' attire les tiges de la harpe H' avec une force variable, et met en vibration celle des tiges qui se trouve à l'unisson de la tige qui vibre à l'autre extrémité du circuit. Ce n'est pas tout; l'amplitude de vibration dans l'une des tiges détermine l'amplitude de vibration dans l'autre, car l'intensité du courant induit est déterminée par l'amplitude de la vibration inductrice, et l'amplitude de la vibration à l'extrémité de réception dépend de l'intensité des impulsions attractives. Lorsque nous chantons dans un piano, certaines cordes de l'instrument sont mises en vibration avec sympathie par l'action de la voix, et, à différents degrés d'amplitude, un son approché de la voyelle proférée part du piano. La théorie nous fait voir que si le piano avait un nombre beaucoup plus considérable de cordes à l'octave, les sons de voyelles seraient parfaitement reproduits. Mon idée de l'action de l'appareil, action indiquée figure 88, était la suivante: proférer un son dans le voisinage de la harpe H', et cer-

Digitized by Google

taines tiges seraient mises en vibration à des amplitudes différentes. A l'autre extrémité du circuit, les tiges correspondantes de la harpe H' vibreraient avec leurs relations propres de force, et le *timbre* du son serait reproduit. La dépense de la construction d'un semblable appareil m'empêcha de m'engager dans cet ordre de recherches.

Après avoir passé en revue les premiers appareils qu'il construisit pour reproduire la parole à distance, M. Bell décrit l'appareil qui fut exposé à Philadelphie en 1876.

Dans cet appareil, le transmetteur ou parleur (fig. 89) était

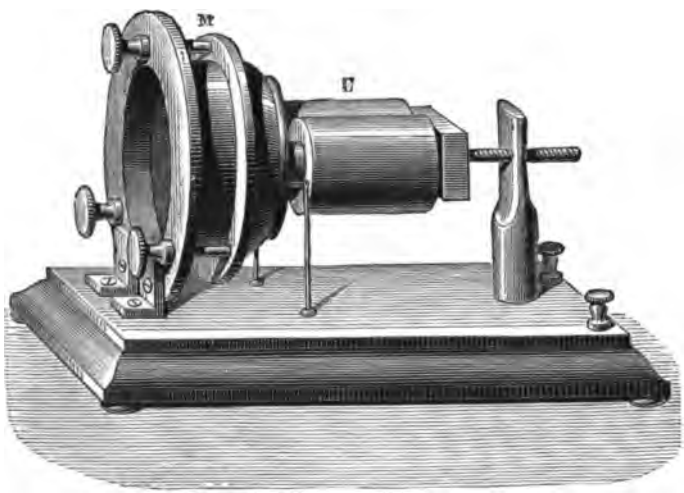


Fig. 89. — Télégraphe parlant de M. Bell à l'exposition de Philadelphie (transmetteur).

constitué par un électro-aimant E et une membrane vibrante M sur laquelle M. Bell plaçait, en guise d'armature, des ressorts de pendule de la grandeur de l'ongle d'un pouce. Le récepteur (fig. 90) était formé d'un électro-aimant tubulaire de Nicklès F sur lequel était fixée par une vis une légère armature en tôle, de l'épaisseur d'une feuille de papier fort, qui agissait comme vibrateur, un petit pont placé sur le socle formant caisse sonore.

Remarquons cependant que cet appareil, ainsi constitué, n'était pas un téléphone électro-magnétique, car on disposait dans le circuit reliant les deux appareils une pile de quelques éléments.

Digitized by Google

Le son n'était transmis que par une sorte d'induction produite par l'armature sur le courant de la pile traversant l'électro-aimant E du transmetteur. Cet appareil permit à M. Bell et à son ami M. Watson d'obtenir des transmissions téléphoniques qui leur indiquèrent la bonne voie.

« Je me souviens, dit M. Bell dans sa conférence, d'une expérience faite alors avec ce téléphone, qui me remplit de joie. Un des deux appareils était placé à Boston dans une des salles des conférences de l'Université, l'autre dans le soubassement d'un bâtiment adjacent. Un de mes élèves observait ce dernier appa-

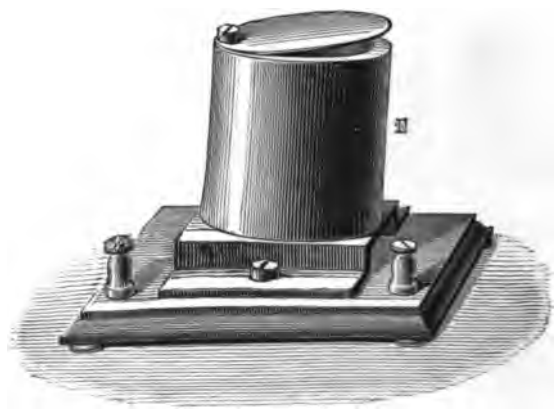


Fig. 90. — Récepteur du téléphone Bell à l exposition de Philadelphie.

reil, et je tenais l'autre. Après que j'eus prononcé ces mots : « *Comprenez-vous ce que je dis?* » quelle a été ma joie quand je pus entendre moi-même cette réponse à travers l'instrument : « Oui, je vous comprends parfaitement. » Certainement l'articulation de la parole n'était pas alors parfaite, et il fallait l'extrême attention que je prêtais pour distinguer les mots de cette réponse ; cependant l'articulation de ces mots existait, et je pouvais croire que leur manque de clarté devait être rapporté uniquement à l'imperfection de l'instrument. »

Le grand défaut du récepteur était qu'il ne pouvait servir d'appareil transmetteur ; il fallait donc deux appareils à chaque

Digitized by Google

station. Après une longue série d'expériences, M. Bell supprima la pile et employa pour noyau magnétique un aimant permanent.

C'est le premier téléphone magnétique représenté fig. 91 sous sa forme primitive : présenté à l'Institut d'Essex, à Salem, dans le Massachusetts, le 12 février 1877, il reproduisit devant un auditoire de 600 personnes un discours prononcé à Boston dans un appareil parfaitement identique.

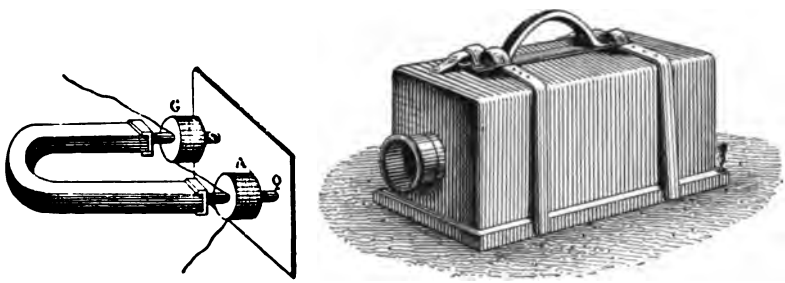


Fig. 91. — Téléphone de M. Bell, modèle avec transmetteur et récepteur identiques. Expérimenté à Salem le 12 février 1877.

La figure 93 (p. 240) montre l'amphithéâtre de Salem au moment où M. Graham Bell fait sa conférence ; les fils du téléphone aboutissaient à Boston, à 22 kilomètres de distance, où l'un des assistants en s'approchant du récepteur entendait distinctement les paroles prononcées par M. Bell (fig. 94, p. 241). Quelques minutes après, les assistants à Salem font retentir l'amphithéâtre d'applaudissements enthousiastes nettement transmis dans le récepteur de Boston. Pendant cette expérience mémorable, M. Bell communiquait avec Boston par l'intermédiaire d'un télégraphe Morse ordinaire que faisait fonctionner une opératrice placée sur l'estrade même du professeur.

Ce télégraphe servait à prévenir du moment où devaient se faire les expériences.

Il n'y a plus qu'un pas à faire pour arriver au téléphone Bell tel que nous le connaissons sous sa forme pratique et portative. M. *Preice* a été le premier à démontrer la possibilité de l'emploi

Digitized by Google

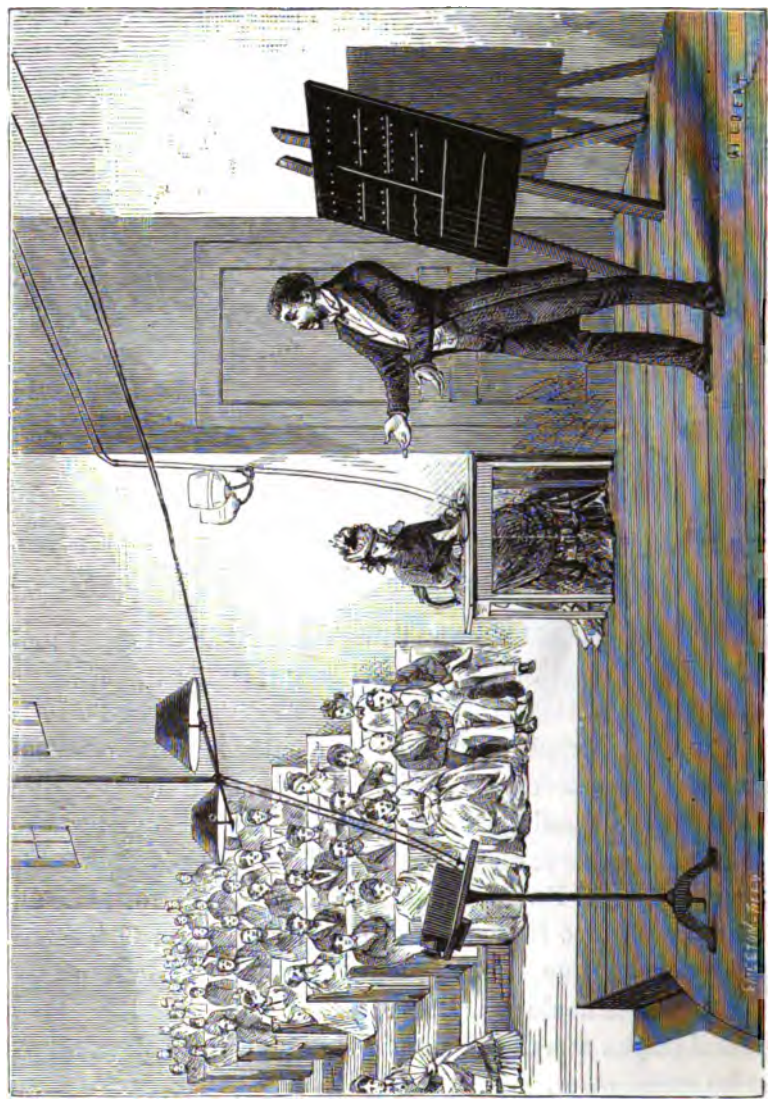


Fig. 93. — Conférence sur le téléphone faite à Salem (États-Unis), le 12 février 1877, par M. A. Graham Bell.

Digitized by Google

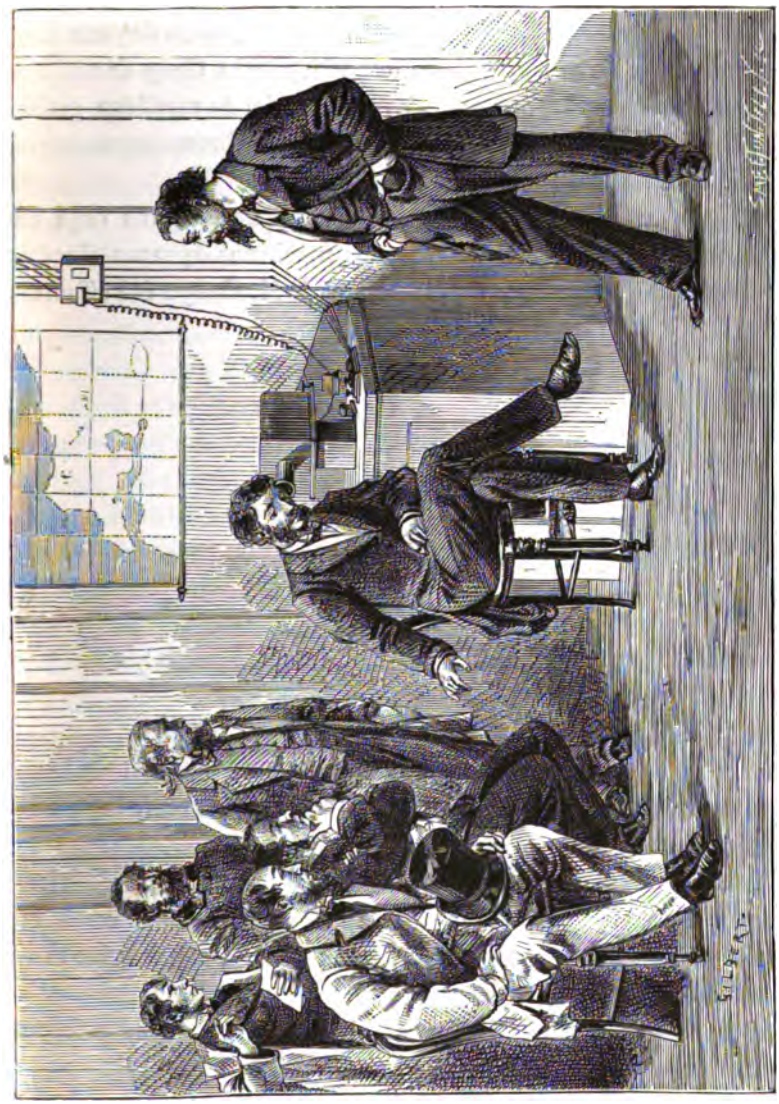


Fig. 94. — Auditeurs entendant à Boston (22 kilomètres de Salem) les paroles prononcées par M. Graham Bell.

Digitized by Google

d'aimants de très petites dimensions et à déterminer la meilleure forme à donner à l'embouchure.

Avant de passer en revue les différents téléphones au point de vue de leur principe et de leur construction, nous devons dire quelques mots de la part qui revient à M. *Élisha Gray* dans l'invention du téléphone, et nous n'avons pas ici de meilleur guide que M. du Moncel, qui a suivi pas à pas les nombreux travaux qui ont déjà été faits sur la question.

Par une coïncidence remarquable, dont nous avons déjà eu un exemple à propos du principe des machines dynamo-électriques, le dépôt des brevets de M. Bell et de M. Gray a été effectué

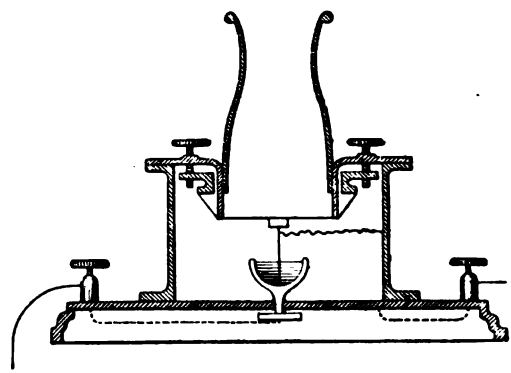


Fig. 92. — Premier modèle de transmetteur à liquide de M. Bell.

le même jour, le 14 février 1876, et tous deux signalaient l'importance et la nécessité des courants ondulatoires pour la transmission électrique de la parole ou des sons combinés.

Dans l'appareil breveté par M. Gray, les courants ondulatoires nécessaires à la transmission téléphonique étaient obtenus en faisant varier la résistance électrique du circuit, et par suite l'intensité du courant dans ce circuit.

Le transmetteur de M. Bell et celui de M. Gray sont identiques comme principe et analogues comme construction.

Nous reproduisons, figure 92, le diagramme du transmetteur de M. Bell, dans lequel un fil de platine attaché à une membrane tendue complétait le circuit voltaïque en plongeant dans de l'eau,

Digitized by Google

Les vibrations de la membrane modifiaient la résistance du transmetteur et par suite l'intensité du courant. C'est le principe du téléphone *à pile* dont le téléphone à charbon d'Edison et le microphone sont des perfectionnements qui ont rendu pratique le téléphone à pile.

En réalité, le problème a été poursuivi et résolu par les deux inventeurs, mais par des procédés très différents ; tandis que M. Gray s'est attaché à constituer un téléphone à pile et un transmetteur à liquide, M. Bell a construit le premier un téléphone magnétique, sans pile. Il mérite bien réellement le titre d'*inventeur du téléphone*, titre qui ne lui est d'ailleurs plus contesté, car le procès pendant entre Gray et Bell s'est arrangé à l'amiable. La compagnie du téléphone Bell en Amérique reste en possession du droit d'exploiter non seulement le téléphone Bell, mais encore celui de Gray, et les appareils plus récents d'Edison et de Phelps. Rappelons, pour terminer, que M. *Yeates*, de Dublin, avait, dès 1865, en essayant de perfectionner le téléphone de Reiss, réalisé un transmetteur analogue à celui de Gray, en introduisant une goutte d'eau entre les contacts de platine de l'appareil de Reiss.

Le téléphone musical pouvait devenir, dans ces conditions, un téléphone d'articulation, mais le résultat ne fut pas obtenu soit à cause de l'imperfection de l'instrument, soit surtout parce que M. Yeates n'avait pas ce résultat en vue.

Classification des téléphones. — Le nombre des téléphones de différents systèmes augmente chaque jour, mais, malgré l'infinie variété de ces appareils, on peut les diviser en deux classes bien distinctes :

1° Les téléphones sans pile ou téléphones magnétiques ;

2° Les téléphones à pile.

C'est dans cette dernière classe que viennent se ranger les transmetteurs à charbon et les microphones.

Les téléphones magnétiques étant les plus simples et les moins nombreux, c'est par eux que nous commencerons notre revue des principaux appareils téléphoniques.

Digitized by Google

TÉLÉPHONES MAGNÉTIQUES

Dans un appareil téléphonique, quel qu'il soit, on trouve toujours deux parties bien distinctes :

1° Le *parleur* ou *transmetteur*, appareil qui transforme les paroles émises devant lui en courants ondulatoires envoyés dans la ligne ;

2° Le *récepteur*, qui, comme son nom l'indique, reçoit les courants ondulatoires et les transforme de nouveau en vibrations sonores.

Le premier fait qui caractérise les téléphones magnétiques consiste en ce que les deux parties, transmetteur et récepteur, sont *absolument identiques*, et peuvent jouer alternativement les deux rôles aussi facilement.

Il résulte de ce fait qu'un système de téléphone magnétique complet se réduit à deux appareils, tandis que les téléphones à pile, dont nous parlerons plus loin, en emploient quatre, deux pour chaque poste.

Le premier et le plus simple de tous les téléphones magnétiques est le téléphone de M. Bell dont nous avons déjà vu les transformations successives racontées par l'inventeur au début de ce chapitre.

Téléphone de M. Bell. — Le téléphone de M. Bell, sous la dernière forme que lui a donnée l'inventeur, se compose d'une petite boîte en bois ou en ébonite munie d'un manche qui renferme l'aimant placé en regard de la plaque vibrante et qui forme en même temps la poignée de l'instrument. Une vis placée à l'extrémité de ce manche sert à rapprocher ou à éloigner l'aimant de la plaque vibrante, ce qui constitue le *réglage* de l'instrument. A l'extrémité du barreau se trouve la bobine dont la grosseur de fil et le nombre des spires doivent être proportionnés à la longueur de la ligne pour produire les meilleurs effets.

La plaque vibrante, qui n'a pas plus de 5 centimètres de dia-

Digitized by Google

mètre dans sa partie libre et une épaisseur de un à deux dixièmes de millimètre, est découpée dans une feuille de tôle et recouverte de vernis ou d'étain pour en prévenir l'oxydation. Elle est maintenue sur la boîte par sa circonférence : à cet effet la boîte se compose de deux parties que l'on maintient, soit par des vis, comme dans le modèle que nous reproduisons figure 95, soit par un pas de vis qui permet de fixer l'embouchure en forme d'entonnoir très évasé sur la boîte en pinçant directement la lame entre les deux parties.

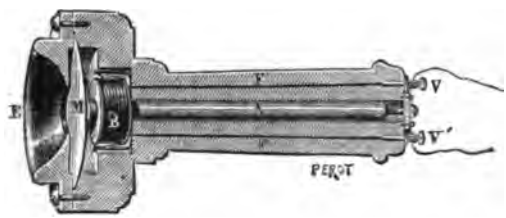


Fig. 95. — Téléphone Bell. Modèle à main ordinaire.

Le fonctionnement de l'appareil est bien connu : nous le rappellerons en quelques mots. En parlant devant l'embouchure d'un téléphone, la plaque vibre ; par ses mouvements, elle modifie la répartition du magnétisme dans le barreau aimanté, et par suite fait naître des courants induits dans la bobine placée à son extrémité. Le téléphone est donc bien un véritable *générateur d'électricité*, générateur d'une délicatesse merveilleuse, modulant l'intensité des courants qu'il engendre pour leur faire suivre toutes les ondulations si variables et si compliquées qui caractérisent les sons articulés.

Ces courants ondulatoires, ainsi développés dans un premier téléphone par les vibrations de la plaque, arrivent par deux conducteurs à un second téléphone qui les transforme de nouveau en vibrations sonores.

Pour une première explication, — inexacte en ce sens qu'elle est incomplète, mais que nous compléterons ultérieurement, — nous pouvons admettre que les courants ondulatoires, c'est-à-dire

Digitized by Google

de sens alternativement renversés, arrivent dans le téléphone récepteur, augmentent le magnétisme du barreau s'ils circulent dans les bobines dans un sens favorable à l'aimantation, le diminuent s'ils sont en sens inverse ; la plaque obéit à ces changements d'aimantation, se rapproche quand le magnétisme augmente, s'éloigne davantage par son élasticité propre quand le magnétisme diminue, et, par cette action ondulatoire comme les courants qui la provoquent, vibre à l'unisson de la plaque du téléphone transmetteur, bien qu'avec des déplacements infiniment plus petits.

Les sons émis par le téléphone récepteur ne sont pas très affaiblis en intercalant plusieurs téléphones dans le circuit. On a pu mettre jusqu'à dix et douze téléphones dans un même circuit et faire entendre distinctement la parole émise par une personne placée à l'autre extrémité de la ligne par dix ou douze auditeurs à la fois.

Nous ne citons cette expérience que pour montrer la délicatesse du merveilleux instrument imaginé par le professeur Bell. Nous aurons souvent l'occasion de la constater encore en pénétrant plus avant dans notre sujet.

Les transformations successives qui s'effectuent dans l'intervalle de temps inappréciable qui sépare l'instant où la vibration sort de la gorge de l'interlocuteur, de celui où elle vient frapper l'oreille de l'auditeur, sont intéressantes à énumérer.

Elles sont au nombre de sept :

1° La vibration de l'air met la plaque du transmetteur en mouvement ;

2° Ce mouvement change la répartition magnétique du barreau aimanté ;

3° Ce changement dans la répartition magnétique développe des courants induits dans la bobine du transmetteur ;

4° Ces courants induits traversent la ligne et la bobine du téléphone récepteur ;

5° Ces courants provoquent des changements dans le magnétisme du barreau aimanté du récepteur ;

Digitized by Google

6° Ces changements de magnétisme agissent sur la plaque et la font vibrer;

7° Les vibrations de la plaque se communiquent à l'air et viennent frapper le tympan de l'oreille de l'auditeur.

N'y a-t-il pas là une des plus belles preuves de l'équilibre et de l'unité des forces de la nature, équilibré si bien établi que l'on ne peut produire un changement, si faible qu'il soit, dans l'une d'elles, sans provoquer aussitôt des changements correspondants dans toutes les autres. L'effort développé par l'émission d'une vibration sonore est bien petit, et cependant le téléphone en représente l'écho à 300, 400 kilomètres de distance!

On a greffé sur le téléphone de M. Bell une foule d'appareils qui ne sont le plus souvent que des modifications sans valeur comme sans importance. Nous ne pouvons examiner tous ces appareils, — déjà au nombre d'une centaine; — nous nous contenterons seulement de décrire quelques modifications qui ont donné en pratique des résultats supérieurs à la disposition adoptée par l'inventeur, et qui ont permis d'entendre la parole d'une façon plus distincte et plus puissante, en se plaçant, dans certains cas, à une certaine distance de l'appareil récepteur. Ne perdons pas de vue cependant que les téléphones magnétiques que nous allons décrire ne constituent en aucune façon une découverte ou une invention nouvelle, mais simplement un *perfectionnement* dont nous aurons, dans chaque cas, à apprécier l'importance et la valeur.

Téléphone de M. Gower. — Le téléphone de M. Gower constitue un sérieux perfectionnement apporté au téléphone de M. Bell, car il a permis de faire parler le récepteur assez haut pour être entendu dans toute un salle. Rappelons cependant que M. Bell avait obtenu en partie ce résultat dans la mémorable expérience de Salem.

Dans l'appareil de M. Gower représenté figure 96, l'aimant NOS est très puissant malgré ses dimensions exiguës. Les deux pôles supportent une petite pièce de fer oblongue sur laquelle est fixée la bobine. Le tout est enfermé dans une boîte

Digitized by Google

plate en laiton, dont le couvercle porte la membrane vibrante dont l'épaisseur est un peu plus grande que celle des appareils construits jusqu'ici : elle est maintenue sur le couvercle par une couronne et quelques vis réparties sur la circonférence.

M. Gower emploie, au lieu de l'embouchure téléphonique ordinaire, des tuyaux acoustiques souples comme ceux des porte-voix.

Pour l'avertissement, M. Gower emploie une disposition spé-

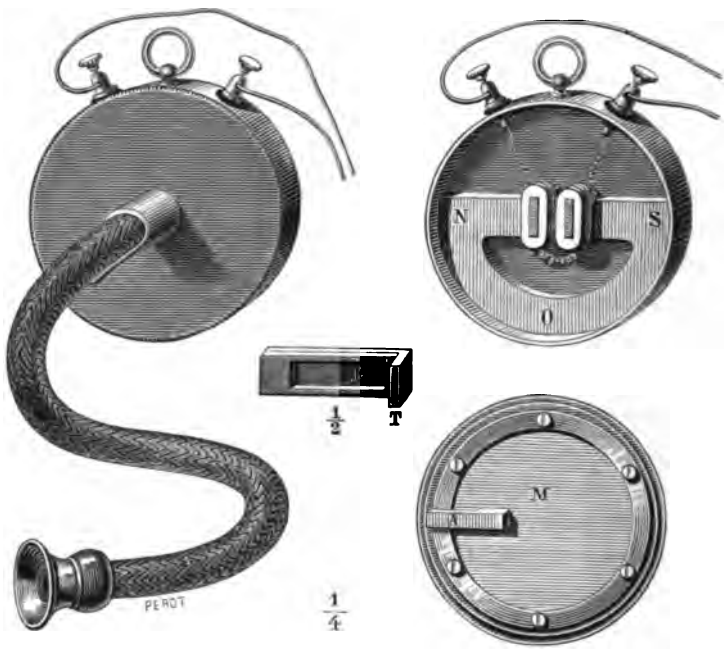


Fig. 96. — Téléphone de M. Gower.

ciale représentée à part en vraie grandeur. Elle se compose d'un tube recourbé à angle droit, ouvrant par un bout T sur le dessus de la membrane et par l'autre dans la boîte ; elle contient une anche vibrante. En soufflant dans le tuyau acoustique, l'anche vibre, et par communication solide fait vibrer la plaque du téléphone plus qu'on ne pourrait le faire en criant dans l'embouchure. Ces vibrations intenses produisent des courants induits puissants qui se traduisent dans le récepteur par des vibrations

Digitized by Google

correspondantes, et par suite font entendre un bruit assez fort.

Le timbre particulier du son contribue d'ailleurs à le rendre facilement perceptible au milieu d'un certain bruit ambiant.

En munissant l'appareil d'un grand cornet résonnateur, on peut entendre la parole à distance.

L'addition sur la membrane du tube A contenant l'anche vibrante ne trouble en aucune façon la netteté de la transmission.

Avec le cornet résonnatenr dont nous venons de parler on peut exécuter une expérience curieuse qu'on fait d'ailleurs avec tous les transmetteurs à pile que nous examinerons dans le chapitre suivant. On parle devant le transmetteur en se tenant à 1 mètre ou 2 de l'instrument et la parole est clairement reproduite par le récepteur écouté de près. C'est la reproduction de la mémorable expérience de Salem en employant un barreau magnétique en place d'un électro-aimant.

Téléphone de M. Ader. — Nous retrouvons, dans le téléphone de M. Ader, l'aimant circulaire et la double bobine du téléphone Gower, mais il est caractérisé par une armature circulaire de fer doux placée dans le corps de l'embouchure en avant du diaphragme. Cette armature a pour effet de surexciter le magnétisme de l'aimant, action longuement étudiée par M. le comte du Moncel dans ses ouvrages. Cette surexcitation pourrait être produite par l'accroissement de masse du diaphragme, mais ce résultat serait alors obtenu aux dépens de son aptitude à vibrer ; l'armature de M. Ader remplit le même but tout en laissant sa légèreté au diaphragme ; le téléphone de M. Gower montre cependant que cette masse de la plaque vibrante ne produit pas d'effet nuisible.

Bien que le téléphone de M. Ader soit plus spécialement construit pour fonctionner comme *récepteur* avec les transmetteurs à pile dont nous parlerons plus loin, sa place est cependant parmi les téléphones magnétiques, car deux appareils semblables conjugués peuvent transmettre la parole comme deux téléphones Bell.

La plupart des téléphones magnétiques dont nous allons maintenant parler fonctionnent aussi comme récepteurs de téléphone

Digitized by Google

à pile ; en les examinant à leur place véritable, nous n'aurons qu'à les citer lorsque nous étudierons chaque système de transmetteur.

Crown-téléphone. — Dans ce modèle de téléphone, qui sert plus spécialement de récepteur aux téléphones à charbon d'Edison, le barreau droit du téléphone de Bell est remplacé par six aimants recourbés en anneau et disposés de telle sorte que les pôles nord, par exemple, correspondent au noyau et les autres pôles touchent le bord antérieur du diaphragme (fig. 97).

Fig. 97. — Crown-téléphone de M. Phelps.

Par ce moyen, on renforce considérablement le champ magnétique et l'instrument est très puissant. Cette disposition est due à un Américain, M. *Phelps*. Son nom lui vient de sa forme même qui lui donne l'aspect d'une couronne.

Pony-Crown-téléphone. — Ce modèle, dû aussi à M. Phelps, n'est autre chose qu'un téléphone de Bell dont l'aimant est recourbé en forme de cercle (fig. 98). On y retrouve l'embouchure en ébonite E, la plaque P, un petit cylindre de fer doux G fixé sur l'aimant et formant le noyau de la bobine B.

Cet appareil ne présente rien de spécial que sa forme très commode qui permet de l'appliquer à l'oreille ou de le suspendre

Digitized by Google

très facilement lorsqu'il n'est pas en service. C'est le modèle le plus employé dans les communications téléphoniques par le système Edison.

Différents modèles du téléphone Bell. — Nous ne pouvons que citer ici une foule de modifications du téléphone Bell, modifications effectuées dans le but d'augmenter l'intensité des sons émis par le récepteur, mais dont les résultats n'ont pas toujours été conformes aux espérances des innovateurs.

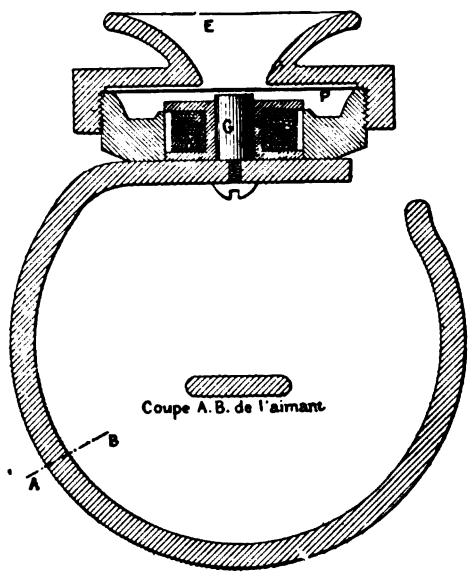


Fig. 98. — Pony-Crown téléphone.

Dès le mois d'octobre 1877, un Anglais, M. *Wilmot*, essaya d'augmenter le nombre des diaphragmes des hélices et des aimants pour augmenter l'énergie des courants développés sous l'influence de la voix. Vers la même époque M. *Trouvé* construisit aussi un téléphone à *diaphragmes multiples*, mais ces appareils ne donnèrent pas de bons résultats.

En Amérique, MM. *Phelps* et *Elisha Gray* construisirent des appareils à plusieurs diaphragmes, ainsi que M. *Cox Walker* en Angleterre ; ces appareils donnèrent de meilleurs résultats que

Digitized by Google

ceux de MM. Wilmot et Trouvé, et on en trouvera la description dans l'ouvrage de M. le comte du Moncel sur *le Téléphone;* mais en pratique on a renoncé à ces appareils compliqués qui demandent un réglage spécial pour chaque membrane et l'on emploie exclusivement des téléphones à un seul diaphragme.

Le *téléphone-tabatière* n'est autre chose qu'un téléphone Bell dans lequel l'aimant est roulé en spirale, faisant un tour presque complet sur lui-même, ce qui le rend peu volumineux, très portatif, et lui donne l'aspect d'une petite boîte ronde.

En adaptant sur le côté de cette boîte un manche en bois de quelques centimètres, l'appareil se transforme en *téléphone-miroir*, etc.

TÉLÉPHONES A PILE.

Dans les téléphones magnétiques, le parleur agit comme un véritable générateur d'électricité : c'est le travail mécanique de la voix dont une partie est transformée en courants d'induction qui, envoyés dans le récepteur, le font vibrer synchroniquement avec la membrane du parleur. Il résulte de ce fait que les courants envoyés dans la ligne ont une intensité limitée, et que, dans aucun cas, le récepteur ne pourra émettre de sons plus puissants que ceux émis devant le parleur.

Il n'en est pas de même dans les téléphones à pile. Dans ces appareils, les vibrations du transmetteur ne sont plus utilisées à *produire* des courants électriques, mais à *distribuer* convenablement ceux venant d'une source constante : leur puissance n'est donc limitée que par celle de la source employée. Dans ces conditions, la puissance du récepteur peut être très grande, et, dans de certaines conditions, dépasser même celle des sons émis devant le transmetteur. Le microphone nous en offrira une foule d'exemples.

Tous les transmetteurs des téléphones à pile sont fondés sur le même principe : utiliser les vibrations d'une *plaque* ou d'une *pièce quelconque* pour faire varier la résistance électrique d'un circuit et, par suite, modifier dans un certain rapport l'intensité du courant électrique qui le traverse.

Digitized by Google

Ce principe général suppose donc que le transmetteur est composé d'une matière spéciale, à résistance variable, disposée plus ou moins ingénieusement dans le circuit et modifiant sa résistance sous l'influence des vibrations qu'il reçoit. Il en résulte une classification très simple des transmetteurs à pile, dépendant de la nature de la substance qui intervient pour constituer la résistance variable.

On distingue trois classes de transmetteurs téléphones à pile :

1° *Les transmetteurs à liquides*, dans lesquels on fait usage d'un liquide pour constituer la résistance variable ;

2° *Les transmetteurs à arc voltaïque*, dans lesquels on emploie une mince couche d'air et des courants de haute tension ;

3° *Les transmetteurs à charbon*, les seuls importants et pratiques, parmi lesquels viennent se ranger les transmetteurs microphoniques ou *microphones* (1).

Nous dirons quelques mots seulement des deux premières classes qui n'ont pas, dans la pratique, donné de résultats bien importants, réservant une plus large place aux transmetteurs à charbon qui sont aujourd'hui exclusivement employés.

1° TRANSMETTEURS A LIQUIDES

Les transmetteurs à liquides sont, au point de vue historique, les plus anciens téléphones articulés. Nous avons vu que, dès l'année 1876, MM. *Bell* et *Gray* avaient imaginé un appareil reproduisant la parole en faisant varier la résistance d'une couche liquide placée entre deux pointes de platine. C'est ce qu'avait fait aussi très grossièrement et sans succès M. *Yeates* de Dublin, dès 1865, en voulant perfectionner le téléphone musical de *Reiss*.

Aux États-Unis, M. *Richemond* a breveté dès 1877 un télé-

(1) Depuis que ces lignes sont écrites, M. le docteur Cornélius Herz a imaginé un transmetteur composé de substances solides médiocrement conductrices et présentant des qualités spéciales qui ont permis d'effectuer des transmissions téléphoniques à grande distance, comme par exemple, sur le câble de Brest à Penzance (300 kilomètres).

Digitized by Google

phone à liquide analogue à celui de M. Bell (page 245) et auquel il a donné le nom d'*électro-hydro-téléphone*.

Le 18 février 1878, M. *Salet* a présenté à l'Académie des sciences un téléphone à transmetteur à liquide dans lequel un petit levier d'aluminium en communication avec la pile était fixé à la plaque vibrante et portait à son extrémité une petite lame de platine, à une très faible distance de celle-ci s'en trouvait une seconde en relation avec la ligne. Une couche liquide se trouvait interposée entre les deux plaques.

« Les vibrations de la membrane, triplées ou quadruplées dans leur amplitude, ne sont pas altérées dans leurs formes, grâce à la petitesse et à la légèreté du levier; elles déterminent, dans l'épaisseur de la couche liquide traversée par le courant, et par suite dans l'intensité de celui-ci, des variations, lesquelles en occasionnent de semblables dans la force attractive du récepteur. Le son transmis est très net et le timbre parfaitement conservé. Les consonnes cependant n'ont pas tout le mordant de celles transmises par l'instrument de M. Bell. C'est un inconvénient qui apparaît surtout quand le levier est un peu lourd ; on pourrait facilement le faire disparaître.

« L'électrolyse produit en outre un bruissement continu qui ne nuit guère à la netteté du son. »

MM. *J. Luvini* et *Carlo Resio*, de Gênes, ont imaginé aussi des téléphones analogues comme principe.

Celui de M. Luvini a ceci de particulier qu'il envoie, grâce à la disposition spéciale de son transmetteur, des courants *différentiels* et *alternatifs*. Le courant est nul lorsque la plaque est en équilibre, et l'intensité des courants varie avec l'étendue du déplacement du système en dessus ou en dessous de la position d'équilibre du diaphragme.

Tous ces appareils n'ont qu'un intérêt purement scientifique et ne sont pas employés dans la pratique.

2° TRANSMETTEURS A ARC VOLTAIQUE

Ces téléphones ont été imaginés dans le but d'obtenir des varia-

Digitized by Google

tions de résistance plus grandes qu'avec les liquides pour une même amplitude de vibration du diaphragme, mais l'emploi de grandes résistances telles que celles des conducteurs gazeux impose aussi l'emploi de courants de haute tension.

M. *Trouvé*, qui a combiné le premier téléphone de ce genre, conseille l'emploi de ses éléments à rondelles humectées de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc ; il en dispose quatre ou cinq cents en série pour obtenir une tension suffisante.

Voici comment le système est décrit par l'auteur, dans *la Nature* du 6 avril 1878 :

« Une membrane métallique vibrante constitue l'un des pôles d'une pile à haute tension ; l'autre pôle est assujetti devant la plaque par une vis micrométrique qui permet de faire varier, suivant la tension de la pile, la distance à la plaque, sans pourtant jamais être en contact avec elle. Cette distance, toutefois, ne doit pas dépasser celle que pourrait franchir la décharge de la pile. Dans ces conditions, la membrane vibrant sous l'influence des ondes sonores a pour effet de modifier constamment la distance entre les deux pôles, et de faire ainsi varier sans cesse l'intensité du courant ; par conséquent l'appareil récepteur (téléphone Bell ou à électro-aimant) subit des variations magnétiques en rapport avec les variations du courant qui l'influence, ce qui a pour effet de faire vibrer synchroniquement la membrane réceptrice. C'est donc sur la possibilité de faire varier entre des limites très étendues la résistance du circuit extérieur d'une pile ou batterie à haute tension dont les pôles ne sont pas en contact, que repose le nouvel appareil téléphonique.

« On pourra aussi, pour faire varier les conditions de cette résistance, faire intervenir une vapeur quelconque ou bien des milieux différents, tels que l'air ou les gaz plus ou moins raréfiés. »

Ces appareils, comme les transmetteurs à liquides, sont restés sans applications.

3° TRANSMETTEURS A CHARBON ET MICROPHONES

Il n'y a pas, entre les transmetteurs à charbon et les micro-

Digitized by Google

phones, de différence de *principe*, mais seulement des différences de disposition et de *moyens;* les deux inventions, absolument distinctes à l'origine, se sont successivement rapprochées par la création d'appareils téléphoniques mixtes dans lesquels il est souvent assez difficile de distinguer si l'on a affaire à un téléphone à charbon ou à un microphone.

L'invention du premier *transmetteur à charbon* est due à *Edison* qui le construisit dès l'année 1876, tout au commencement de la découverte de Graham Bell. Le premier *microphone*, de date plus récente, est dû à M. *Hughes*, l'inventeur du télégraphe imprimeur, qui l'a montré pour la première fois en janvier 1878 aux fonctionnaires de la *Submarine Telegraph Company*.

Mais le principe que MM. Edison et Hughes ont appliqué les premiers à la transmission électrique des vibrations sonores, — nous prenons à dessein ce mot vague et général, — a été découvert, en 1856, par M. le comte du Moncel.

Pendant longtemps on avait cru que le contact entre deux métaux suffisait pour les rendre susceptibles de transmettre un courant électrique sans introduire de résistance à son passage.

A la suite de nombreuses recherches sur les interrupteurs électriques, M. du Moncel constata le premier que *la pression exercée au point de contact entre deux corps conducteurs appuyés l'un sur l'autre pouvait influer considérablement sur l'intensité électrique développée.*

M. du Moncel attribua d'abord l'effet à une cause physique encore mal appréciée ; mais, plus tard, il fut conduit à admettre que cet effet provenait d'une pression plus ou moins grande des deux corps à leur point de contact, d'où devait résulter une adhésion de ces deux corps sur une surface moléculaire plus ou moins grande. Cette variation de résistance au point de contact est d'autant plus grande que les conducteurs présentent plus de résistance, qu'ils sont plus ou moins durs et qu'ils sont plus ou moins bien décapés. Le principe découvert par M. du Moncel fut appliqué en 1865 par M. *Clérac*, fonctionnaire des lignes télégraphiques, à un rhéostat à charbon formé d'un tube rempli de

Digitized by Google

plombagine dans lequel un disque mobile, formant électrode, pouvait, en pressant plus ou moins la plombagine, faire varier, dans un rapport assez grand, la résistance de cette substance.

La découverte de la variation de résistance électrique du charbon avec la pression appartient donc bien, quoi qu'en disent les Américains, à M. le comte du Moncel, mais les applications de ce principe aux transmissions téléphoniques et microphoniques sont dues à MM. Edison et Hughes.

Téléphone à charbon d'Edison. — Le transmetteur à charbon d'Edison a reçu un grand nombre de formes depuis le

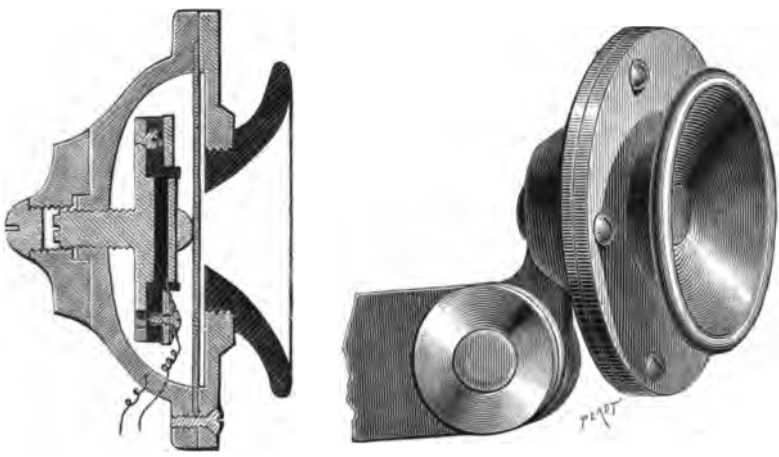


Fig. 99. — Transmetteur à charbon d'Edison (modèle 1879). Coupe et perspective.

premier appareil construit en 1876. Le modèle que nous reproduisons en coupe et en perspective, figure 99, est celui actuellement employé en France dans les communications téléphoniques.

Ce transmetteur se compose d'une embouchure en ébonite, une lame vibrante et un disque de charbon préparé, de la grandeur d'une pièce d'un franc, placé sur un support qu'on peut à volonté écarter ou rapprocher de la plaque vibrante à l'aide d'une vis disposée sur la face postérieure du parleur. Une petite plaque de platine surmontée d'un bouton en ivoire en forme

Digitized by Google

de goutte de suif vient s'appliquer sur la face supérieure de la pastille de charbon.

Les vibrations de la plaque se transmettent à la pastille par la petite plaque de platine, les variations de pression produites par les vibrations font varier la résistance électrique de cette pastille de charbon intercalée dans le circuit d'une pile et d'un récepteur (téléphone magnétique de Bell, Phelps, Ader, etc.), et le font vibrer synchroniquement. En pratique cependant, le courant de la pile transformé par le parleur en courant ondulatoire n'est pas envoyé *directement* dans le récepteur, mais il est localisé, traverse le fil inducteur d'une petite bobine d'induction, et c'est le fil *induit* qui est en communication avec le téléphone récepteur du poste opposé. Avant d'aller plus loin, nous devons faire connaître les raisons de cette disposition spéciale.

Emploi des courants induits dans les téléphones à pile. — Le rôle du transmetteur dans les téléphones à pile se réduit, comme nous l'avons vu, à faire varier la résistance électrique du circuit, variation qui se traduit aussitôt par une variation proportionnée, et en sens inverse, dans l'intensité du courant qui le traverse.

Pour une vibration donnée, le changement dans la résistance du circuit aura une valeur donnée, que nous supposerons être de *un ohm* pour fixer les idées. Si le circuit total a une faible résistance, *dix ohms* par exemple, la variation de *un ohm* produite dans le transmetteur fera varier l'intensité de *un dixième* de sa valeur totale, et par suite le téléphone récepteur, qui agit sous l'influence des variations d'intensité, vibrera énergiquement et parlera avec une certaine puissance.

Si, au contraire, la résistance totale du circuit est grande, mille ohms, par exemple, les variations d'intensité ne seront plus que de un millième de l'intensité totale, intensité que l'allongement de la ligne aura elle-même affaiblie dans une assez grande proportion.

Il faudrait donc, pour obtenir un effet aussi puissant que dans le premier cas, augmenter le nombre des éléments de la pile

Digitized by Google

dans une très grande proportion et augmenter les variations de résistance, résultat obtenu dans une certaine mesure par la multiplication des disques de charbon, comme dans le téléphone de M. *Navez*, ou des contacts microphoniques, comme dans les microphones de *Crossley* et l'*électrophone* de M. *Maiche*. L'emploi d'une pile puissante n'est ni pratique ni économique, et le nombre des rondelles ne peut pas être augmenté indéfiniment, car elles introduisent dans le circuit leurs résistances propres qui viennent contrebalancer l'avantage résultant des contacts multiples. A un moment donné, il y a équilibre, et en augmentant leur nombre, l'effet est plus nuisible qu'utile.

La difficulté fut habilement vaincue par M. *Edison* en employant une disposition appliquée déjà en 1874 par M. *Elisha Gray* à son téléphone musical. Au lieu d'envoyer le courant du transmetteur directement sur la ligne, M. Edison lui fait traverser seulement le *gros fil* d'une bobine d'induction sans trembleur. Le fil fin ou fil induit correspond avec la terre par une de ses extrémités ; la seconde est attachée à la ligne, traverse le téléphone du poste récepteur et va à la terre. Il résulte de cette disposition deux immenses avantages. Le transmetteur n'agit plus que sur une faible résistance, représentée seulement par la pile, le transmetteur et le fil inducteur. Les variations de résistance du transmetteur ont alors une assez grande valeur relative : ces variations se traduisent dans le fil inducteur par des variations correspondantes d'intensité et, dans le fil induit, par des courants d'induction d'une amplitude proportionnelle. Mais, d'autre part, comme nous l'avons vu à propos du rôle des bobines d'induction, les courants développés dans le fil induit acquièrent dans la bobine une grande tension qui leur permet de franchir de grandes résistances, et cette propriété a permis de *téléphoner* à des distances considérables avec le courant de trois piles Leclanché.

Voici maintenant comment fonctionne le téléphone Edison, par exemple. Les courants d'intensité variable *modulés* par le transmetteur traversent le fil inducteur, et eu égard à la faible résistance totale du circuit, font varier l'intensité entre des limites

Digitized by Google

assez éloignées : ces courants ondulatoires influencent alors le récepteur comme dans le téléphone Bell.

La pastille de charbon qui constitue l'âme du transmetteur mérite une mention spéciale. Elle est fabriquée à l'aide du noir de fumée provenant de la combustion de lampes à pétrole à mèche trop longue dans un espace à peu près clos. On agglomère ensuite ce noir de fumée en le comprimant *légèrement* sous une presse à balancier. On en forme ainsi une pastille assez friable, mais d'une solidité suffisante lorsqu'elle est prise entre les deux plaques de platine qui la maintiennent, et d'une sensibilité extrême au point de vue de la variation de sa résistance électrique avec la pression.

Modifications diverses du téléphone à charbon. — Nous avons vu que M. *Navez*, colonel d'artillerie belge, avait employé plusieurs disques de charbon au lieu d'un seul, et nous avons indiqué dans quelles limites cette disposition pouvait être avantageuse.

Dans le téléphone de MM. *Pollard* et *Garnier*, le transmetteur se compose de deux pointes de mine de plomb, placées sur des porte-crayons métalliques, appliquées par le bout contre la lame vibrante avec une pression qui doit être réglée. Comme dans le téléphone d'Edison, c'est le courant induit provenant d'une petite bobine qui va au récepteur. M. *Hellesen* a combiné un téléphone à réaction dans lequel le transmetteur est formé par un crayon de charbon venant s'appliquer contre la plaque, et par un véritable électro-aimant creux dont le gros fil est traversé par le courant de la pile après avoir passé par le crayon de charbon et la plaque.

Il en résulte des effets de réaction dus au renforcement et à l'affaiblissement du magnétisme de cet électro-aimant placé en regard de la plaque vibrante qui, suivant M. Hellesen, renforcent ces actions. Le circuit du récepteur est formé par une longue bobine de fil fin entourant le gros fil de l'électro-aimant, et les courants induits développés dans cette seconde bobine agissent sur le téléphone magnétique récepteur.

Digitized by Google

MM. *Houston* et *Thomson* ont aussi combiné, un peu après M. Hellesen, deux téléphones analogues qui ont pour particularité qu'ils peuvent fonctionner soit comme transmetteur, soit comme récepteur. On trouvera la description complète de ces deux appareils que la pratique n'a pas sanctionnés dans l'ouvrage de M. le comte du Moncel sur *le Téléphone, le Microphone et le Phonographe.*

Le transmetteur de M. *Righi* se compose d'une plaque portant un disque plat venant exercer une pression variable sur de la poudre de plombagine mêlée à de la poudre d'argent placée dans une petite auge au-dessous du disque. Ce transmetteur ne peut fonctionner qu'*horizontalement*, ce qui est un inconvénient à son emploi. Le récepteur est un téléphone Bell de grandes dimensions dont la plaque vibrante est constituée par une feuille de parchemin au centre de laquelle est fixé un petit disque de fer doux. Deux éléments Bunsen suffisent pour faire fonctionner l'appareil, qui peut faire entendre dans toute une salle les sons d'une trompette ou d'une flûte. La parole peut être entendue jusqu'à 3 mètres du récepteur. Pour les courtes distances, le récepteur est dans le même circuit que la pile et le transmetteur, mais pour des distances un peu grandes, M. Righi emploie, comme MM. Gray et Edison, des bobines d'induction.

Électrophone de M. Ader. — Cet appareil se distingue des autres téléphones à pile par quelques dispositions nouvelles et intéressantes. Le transmetteur est constitué par une sorte de porte-crayon mobile en bois terminé par une soucoupe devant laquelle on parle. L'extrémité de ce porte-crayon se termine par un petit cylindre de charbon arrondi à son extrémité et qui appuie sur un second morceau de charbon fixe de plus grande section. Le courant traverse le charbon fixe, le petit crayon mobile et sort par un fil très fin et très élastique pour rejoindre la ligne. En maintenant l'appareil vertical, on rompt le circuit ; en l'agitant, on produit des chocs qui se traduisent sur le récepteur par des bruits intenses pouvant être entendus à une assez grande distance ; en tenant l'appareil un peu incliné, il y a un léger

Digitized by Google

contact entre les deux charbons et la transmission téléphonique directe, sans bobine d'induction, s'effectue très nettement et avec une grande puissance.

Le récepteur est un tambour de basque de 15 à 18 centimètres de diamètre, tendu d'une feuille de parchemin, sur lequel sont fixées six petites armatures en fer-blanc très minces et très étroites disposées sur un cercle de 6 centimètres de diamètre.

En face de ces armatures sont placés six petits électro-aimants microscopiques, chacun d'eux pouvant être réglé séparément à l'aide d'une vis. C'est M. *Marcel Deprez* qui a employé, le premier, ces petits électro-aimants dans ses enregistreurs pour éviter l'inertie magnétique des électro-aimants plus gros, inertie qui produit un retard dans l'aimantation et par suite dans l'inscription des phénomènes. Les six petits électro-aimants sont tous disposés en tension et agissent simultanément sur leurs armatures dans le même sens avec une très grande rapidité.

Avec ce récepteur, la parole peut être entendue à 5 ou 6 mètres de distance en employant le transmetteur que nous avons décrit, mais le réglage en est fort difficile, car la membrane est trop sensible à la chaleur et à l'humidité. Nous gardons le souvenir d'une conférence dans laquelle l'appareil, parfaitement réglé quelques heures auparavant, a complètement refusé de se faire entendre devant un public aussi attentif que bienveillant, comme doit le faire tout instrument bien élevé dans une expérience publique.

Aujourd'hui M. Ader emploie de préférence son téléphone à surexcitation magnétique (p. 247) comme récepteur, les résultats sont presque aussi puissants et beaucoup plus sûrs qu'avec l'électrophone.

Téléphone de M. Boudet de Paris. — Ce système est caractérisé par la disposition du parleur ; pour ne pas décrire deux fois l'appareil, nous renvoyons le lecteur aux applications à la médecine, du microphone de M. Boudet de Paris. La disposition de l'appareil comme téléphone est peu différente, seulement le disque est fixé sur la plaque du parleur et suit ses mouvements.

Digitized by Google

Le téléphone de M. Boudet de Paris est très puissant ; avec un téléphone Bell à plaque un peu épaisse comme récepteur, la parole peut être entendue dans toute une pièce, à la condition d'adapter un cornet à l'embouchure, comme pour le phonographe, mais ce transmetteur est, comme le récepteur de M. Ader, un peu capricieux et nécessite de fréquents réglages.

Nous signalons seulement en passant les systèmes téléphoniques de MM. *Bourseul* et *Locht-Labye*, qui ne sont que des modifications peu importantes des téléphones à charbon ; ils constituent des systèmes intermédiaires entre les *transmetteurs à charbon* proprement dits et les *microphones*.

Transmetteur de M. Blake. — Ce système constitue un parleur assez puissant très employé aujourd'hui en Angleterre, avec les courants induits et le téléphone Bell comme récepteur. Le contact à résistance variable est constitué par deux organes mobiles indépendants du diaphragme et toujours en contact léger l'un avec l'autre. On remplace la rigidité d'une des parties par son inertie en fixant le charbon sur une masse pesante, la seconde partie du contact est formée par un petit grain de platine pressé légèrement contre le charbon par un petit ressort. Le contact des deux pièces n'étant jamais rompu, il n'y a pas de crachements résultant de la rupture et du rétablissement brusque du circuit. Dans le téléphone de M. *Fitch*, l'un des charbons est placé sur du feutre, ce qui donne une certaine élasticité et évite aussi les crachements. Il existe une foule de dispositions téléphoniques qu'il serait trop long de signaler ici et qui ne se distinguent des principaux types que nous avons décrits que par des détails sans importance. Disons cependant encore quelques mots d'un nouveau téléphone de M. Hopkins, remarquable surtout par sa simplicité et la facilité de son réglage.

Téléphone de M. Hopkins. — Le transmetteur se compose d'une lame de mica A sur laquelle est fixée une petite coupe de cuivre B renfermant un petit cylindre de charbon. Un crayon de charbon vertical F vient s'appliquer contre le petit bloc de charbon fixé sur la plaque et est maintenu dans cette position

Digitized by Google

par la poussée qu'exerce un bain de mercure dans lequel il plonge, et placé dans un vase en verre D qu'on peut élever ou abaisser à volonté à l'aide du support E maintenu en place par une vis de pression. La poussée exercée par le mercure se transmet au contact en B et peut être ainsi réglée très facilement. L'appareil employant du mercure n'est pas aisément transportable, aussi doit-il fonctionner à demeure fixe. L'inspection de la figure 100 et du diagramme suffit pour faire comprendre l'appareil, qui emploie les courants induits, comme la plupart des téléphones à charbon.

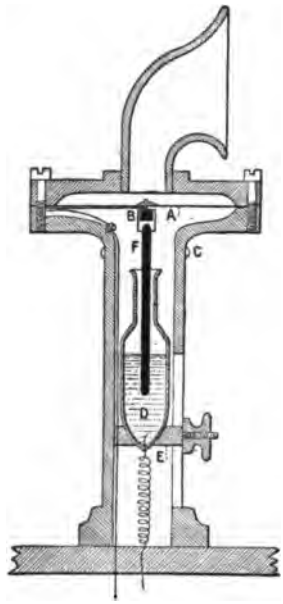


Fig. 100. — Parleur du téléphone Hopkins (1/2 grandeur).

Une embouchure en forme de pavillon placée à la partie supérieure sert à concentrer les vibrations sur la plaque. Le récepteur du poste est un téléphone Bell ordinaire dont

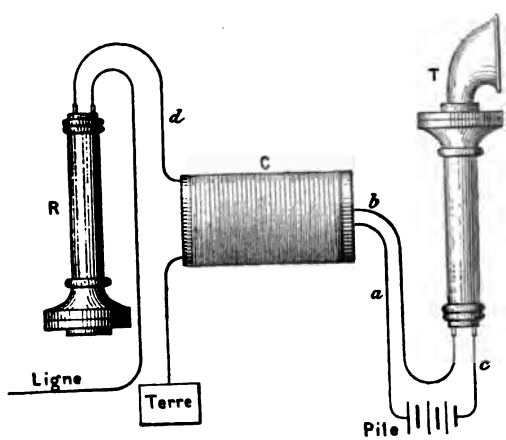


Fig. 101. — Diagramme du montage d'un poste du téléphone Hopkins.

l'embouchure repose sur un second cornet. En se plaçant très

Digitized by Google

près de l'appareil et en émettant d'une voix forte dans l'embouchure le son *ô—ô—ô* le, récepteur de l'autre poste peut être entendu dans toute une pièce relativement tranquille, ce qui dispense de la manœuvre de toute espèce de commutateur et évite des erreurs souvent très fréquentes dans les autres appareils.

Comme le montre le diagramme (fig. 101), les deux récepteurs sont montés sur le même circuit ainsi que les fils induits des deux bobines. A chaque poste la pile est fermée sur le téléphone T et le fil inducteur *ab* de la bobine C.

La figure 102 représente un poste complet en perspective.

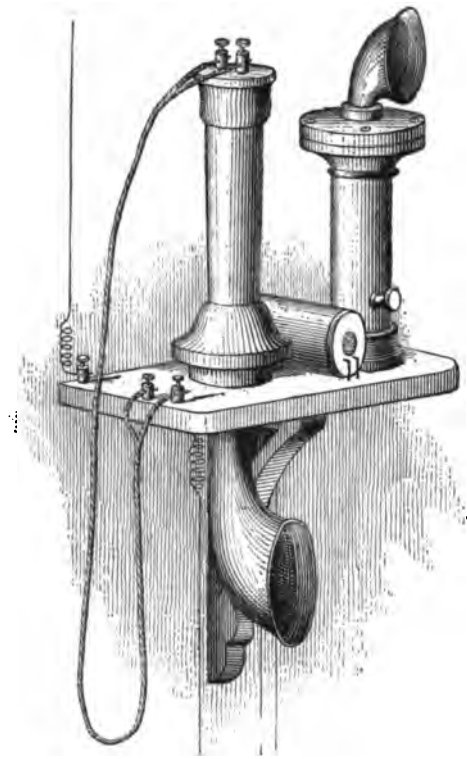


Fig. 102. — Téléphone Hopkins. Poste complet.

Nous devons arrêter là notre nomenclature des transmetteurs à charbon, dont le nombre s'accroît chaque jour, pour aborder l'examen de transmetteurs d'une nature spéciale et d'une délicatesse infiniment plus grande.

LES MICROPHONES ET LES PARLEURS MICROPHONIQUES.

Le *microphone* n'est autre chose qu'un transmetteur téléphonique de forme spéciale, mais il doit son nom, qui lui a été donné

Digitized by Google

par M. Hughes, son inventeur, aux *résultats* qu'il permet d'obtenir.

Le microphone est en réalité un appareil *amplificateur* des vibrations mécaniques de faible intensité qu'il transforme en courants ondulatoires. Ces courants ondulatoires envoyés dans un téléphone récepteur produisent très souvent des vibrations sonores d'une intensité beaucoup plus grande que la cause qui leur a donné naissance. Il joue donc en acoustique, par rapport aux sons faibles, le rôle que le microscope joue en optique par rapport aux petits objets.

Il sera plus facile, après avoir décrit les appareils si simples de

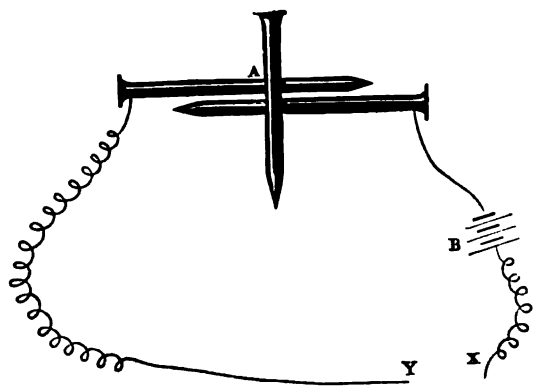


Fig. 103. — Microphone élémentaire.

M. Hughes, d'expliquer comment ces résultats si incroyables et si imprévus peuvent être obtenus.

L'appareil le plus simple employé par M. Hughes dans ses nombreuses recherches est représenté figure 103. Deux clous A sont fixés sur une planchette horizontale, à la distance d'environ un millimètre l'un de l'autre. Les fils X et Y fixés à ces clous conduisent à une pile B et à un téléphone, de sorte que l'intervalle des clous forme la seule interruption dans le circuit. En posant un troisième clou en travers des deux premiers, le courant passe par les points de contact des deux clous qui forment un contact imparfait auquel l'appareil doit toute sa sensibilité, et

Digitized by Google

cet appareil constitue un transmetteur téléphonique parfait. Des paroles dites, des airs chantés à ce petit clou, qui peut danser sur les deux autres au son de l'articulation et de la note émises, sont instantanément transmis au récepteur, à l'autre extrémité de la ligne, avec une puissance et une netteté merveilleuses. L'effet produit est encore meilleur avec des baguettes de charbon.

Mais l'appareil le plus sensible que le professeur Hughes ait construit, et qui est resté, sauf des modifications peu importantes, le microphone *classique*, est représenté figure 104.

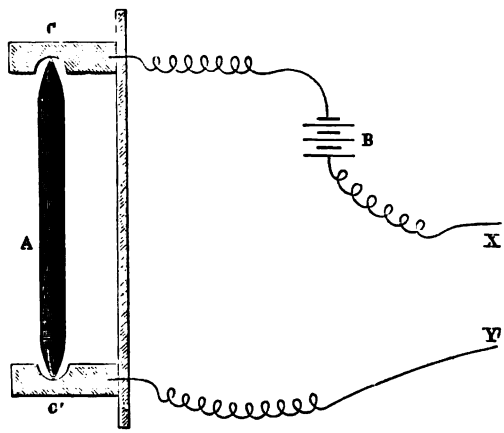


Fig. 104. — Microphone de M. Hughes.

Il consiste en un petit crayon de charbon de cornue A terminé en pointe à chacune de ses extrémités : il est légèrement soutenu dans une position verticale entre deux godets creusés dans deux petits dés de charbon CC', fixés contre une table mince d'harmonie posée sur un plateau solide D (fig. 104). Ces dés CC' sont reliés par les fils X et Y à la pile et au fil de ligne qui conduit au téléphone. Cet instrument, dans sa grossière ébauche, est d'une surprenante et merveilleuse délicatesse.

Il convertit en bruits sonores, non seulement les notes de musique et les paroles, mais les vibrations les plus faibles et les bruits même imperceptibles. Le coup le plus léger, le moindre

Digitized by Google

contact contre le plateau suffit pour produire dans le téléphone un grincement bruyant. La pointe d'un pinceau promenée sur le plateau, la chute d'une petite balle de coton produisent un véritable vacarme dans le récepteur; la promenade d'un insecte ou d'une mouche sur le plateau D est perçue avec une netteté parfaite par une personne dont l'oreille est placée contre le téléphone placé à distance et même à plusieurs kilomètres du transmetteur.

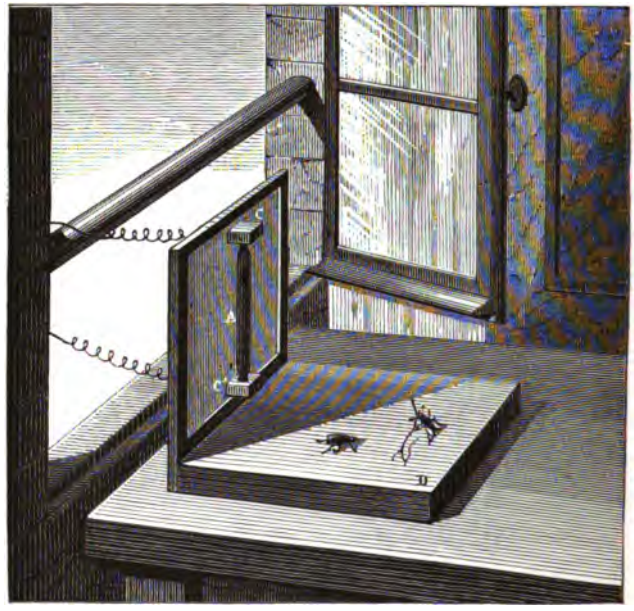


Fig. 105. — Microphone Hughes. Audition à distance du bruit produit par la marche d'insectes.

Effets produits dans le microphone. — Nous pouvons nous rendre compte maintenant des différences, assez légères du reste, qui caractérisent le transmetteur à charbon d'Edison, et le microphone sous la forme simple que lui a donnée M. Hughes.

Dans les deux appareils, l'action téléphonique ou microphonique est produite par des *variations de résistance électrique* résultant des vibrations communiquées au transmetteur.

Dans le téléphone à charbon d'Edison, ces vibrations agis-

Digitized by Google

sent sur une plaque qui vient exercer des pressions variables sur un disque ; dans le microphone de M. Hughes, les vibrations agissent pour changer les points et les surfaces de contact; l'un est disposé pour transmettre la parole seulement, l'autre est plus spécialement destiné à la transmission de petits bruits.

Il y avait donc lieu, *à l'origine*, de considérer les inventions d'Edison et de M. Hughes comme deux inventions distinctes autant par les effets produits que par les procédés employés à les produire.

Une série d'appareils est venue, depuis, combler la ligne de démarcation qui séparait ces deux inventions au moment de la découverte de M. Hughes. Aujourd'hui la distinction n'est plus toujours facile à faire, nous n'en voulons pour preuve que les transmetteurs de Blake, de Boudet de Paris, d'Ader, etc., et l'on peut désigner sous le nom générique de *transmetteurs à charbon* tous les microphones et parleurs microphoniques dont on avait fait, dans le principe, une classe spéciale.

M. Edison lui-même, dans son dernier modèle de parleur à charbon, emploie une disposition qui n'est autre chose qu'un parleur microphonique du genre de celui de M. Blake.

Les revendications de M. Edison relativement à la découverte de M. Hughes n'étaient pas plus fondées que courtoises, et tout le mérite de l'invention doit donc revenir à ce dernier.

On conçoit facilement comment le microphone de M. Hughes peut transmettre les bruits les plus faibles en les amplifiant si l'on examine ce qui se passe dans un *contact microphonique*. Prenons par exemple l'insecte marchant sur la planche du microphone (fig. 105).

Chaque pas effectué par l'animal produit un petit mouvement mécanique, qui n'est pas de nature à impressionner l'oreille, mais qui agit sur le contact microphonique, déplace, change les points de contact, ce qui se traduit par des variations d'intensité du courant. Ces petits déplacements mécaniques sont d'autant plus faciles à effectuer que le crayon de charbon vertical est dans un équilibre plus instable, et de fait, on enlève une

Digitized by Google

partie de sa sensibilité à l'appareil en le plaçant horizontalement.

Au point de vue philosophique, le merveilleux instrument de M. Hughes est un instrument très imparfait, en ce sens qu'il n'agit pas *proportionnellement* aux vibrations qu'il reçoit.

Les vibrations très faibles sont très amplifiées, celles plus intenses se reproduisent avec leur intensité réelle, et les sons de grande puissance se reproduisent au contraire avec une intensité très réduite. L'appareil agit donc à la façon d'un microscope qui grandirait les petits objets et rapetisserait les grands. A défaut d'appareils qui permettent de mesurer directement l'*intensité* des sons, — on ne peut jusqu'à présent que *mesurer* leur hauteur, et *apprécier* leur intensité et leur timbre, — il est impossible de déterminer exactement dans quelles conditions se fait cette accommodation des sons microphoniques. Il nous suffit de l'avoir indiqué pour en faire apprécier l'exactitude.

Microphone de M. Hughes, modèle de M. Ducretet. — Ce petit modèle de microphone permet, sous la forme que lui a donnée ce constructeur, de reproduire la plupart des expériences avec la plus grande facilité (fig. 106).

Un petit crayon C de charbon de cornue ou de plombagine est terminé en pointe à ses extrémités; il est maintenu dans une position verticale entre deux charbons de cornue DD'. Le support du godet supérieur D est disposé de telle sorte qu'on puisse vivement régler l'équilibre et le jeu du crayon entre les godets, et par suite régler la sensibilité du microphone. Les deux godets sont en communication directe avec les deux bornes BB'. Le tout est fixé sur une petite planchette et un montant P en bois. En dessous, deux tubes de caoutchouc servent de pieds à la planchette et isolent les vibrations étrangères. Une petite bande de papier émeri sert de surface rugueuse E, pour provoquer de petits frottements qui seront transmis par l'appareil.

Une pile de deux ou trois éléments Daniell ou Leclanché et un téléphone T, *placé à distance*, forment un circuit complet dans lequel se trouve compris le crayon C à contacts imparfaits.

M. *Trouvé* a construit un modèle de microphone très portatif

Digitized by Google

en renfermant le crayon de charbon dans une petite boîte cylindrique en ébonite.

MM. *Crossley* et *Maiche* ont construit des microphones à contacts multiples, comme M. Navez avait construit un transmetteur à charbon à plusieurs disques, mais l'augmentation de ces contacts imparfaits, lorsqu'ils sont trop multipliés, présente les mêmes inconvénients que nous avons signalés à propos du téléphone de M. Navez : nous n'y reviendrons pas.

Avant de passer en revue les différentes applications que le téléphone, sous ses différentes formes, a déjà reçues, nous devons examiner, sous le titre de *téléphones spéciaux*, une série d'appa-

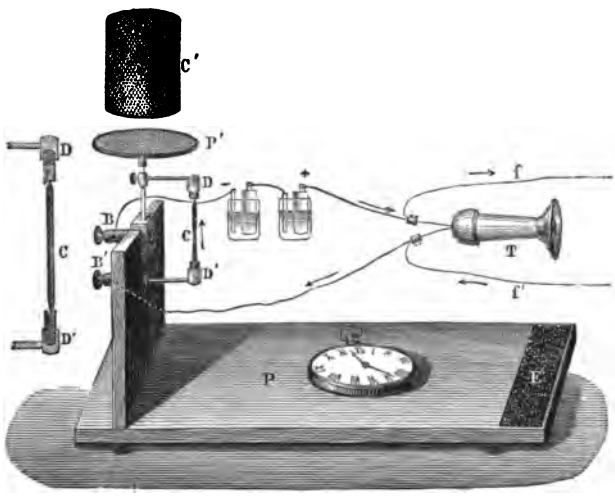


Fig. 106. — Microphone de M. Hughes, modèle de M. Ducretet.

reils téléphoniques dans lesquels les *mouvements téléphoniques*, en désignant par ce nom les phénomènes qui relient le transmetteur et le récepteur, sont produits par des actions d'un ordre très différent de ceux que nous avons examinés jusqu'ici.

Cet examen nous permettra d'établir une théorie plus complète des actions multiples qui sont en jeu dans les transmissions téléphoniques, et de bien définir le rôle de chacun des organes qui constituent ces merveilleux instruments.

Digitized by Google

CHAPITRE III

TÉLÉPHONES SPÉCIAUX

Dans tous les téléphones décrits jusqu'à présent, nous trouvons toujours un transmetteur magnétique, à charbon ou microphonique, envoyant dans la ligne un courant *ondulatoire*, et ce courant ondulatoire agissant sur un téléphone récepteur dans lequel nous retrouvons toujours, comme parties essentielles : 1° une plaque vibrante ; 2° un noyau aimanté et quelquefois un électro-aimant ; 3° une bobine.

Aucun de ces organes n'est *indispensable* à la réception des sons articulés dans le téléphone; certains appareils récepteurs n'emploient même *aucun* de ces trois organes; dans certaines transmissions téléphoniques spéciales, on a pu *entendre la parole sans récepteur;* dans d'autres, comme le *photophone* de Bell, on fait de la *téléphonie sans fil*, par l'intermédiaire d'un rayon lumineux.

Dans d'autres téléphones, les récepteurs prennent des formes irrégulières ; les principes sur lesquels ils s'appuient sont fondés sur des actions très différentes des actions magnétiques : tantôt ce sont des actions physiologiques, comme dans le récepteur de Gray, tantôt des actions chimiques, comme dans l'électromotographe d'Edison, etc., etc. Nous examinerons les plus importants et les plus originaux de ces appareils.

Téléphones sans plaque vibrante. — La première simplification que peut recevoir le téléphone de Bell consiste dans la

Digitized by Google

suppression de la plaque vibrante. Dans ces conditions, la parole n'est plus transmise distinctement si le transmetteur est un téléphone magnétique, mais le récepteur articule en employant un transmetteur à charbon et les courants induits, comme dans le téléphone d'Edison. La parole est cependant très faible, mais M. du Moncel, qui a fait un grand nombre d'expériences sur ce sujet, a constaté que l'effet est d'autant plus caractérisé que le noyau est plus fortement aimanté et que sa masse est plus petite.

En employant un ressort de montre bien aimanté et une petite bobine de fil fin à son extrémité, M. du Moncel a pu entendre la parole en employant un téléphone magnétique de Bell. Nous examinerons plus tard les conséquences de ce fait et de bien d'autres que nous nous contentons de signaler ici comme *résultats d'expériences*.

A côté de ces téléphones sans diaphragme, il convient de placer les expériences de M. *Bréguet* dans lesquelles on a augmenté l'épaisseur du diaphragme jusqu'à *quinze* centimètres sans enlever au téléphone sa puissance et ses facultés d'articulation. Dans l'un il n'y a pas de plaque, dans l'autre il y en a trop, et le téléphone articule dans un cas comme dans l'autre.

Le rôle du diaphragme dans le téléphone *récepteur* n'est donc pas indispensable, mais nous verrons qu'il y est très utile, car il accroît dans une très grande mesure la puissance des sons émis par ce récepteur.

Téléphones sans diaphragme et sans aimant. Expériences de M. Ader. — La présence d'un noyau aimanté dans le téléphone récepteur n'est pas indispensable, et nous avons vu que l'électrophone de M. Ader emploie de petits électro-aimants microscopiques en fer doux. En faisant des expériences sur ces appareils, M. Ader a été conduit à construire un récepteur composé d'une simple tige de fer de un millimètre de diamètre, enroulée d'une bobine de fil fin, et il a pu transmettre la parole dans ces conditions avec une très grande netteté. Le petit fil de fer était piqué sur une planche, et il constata qu'en

Digitized by Google

appliquant contre le second bout libre de cette petite tige de fer une masse pesante, l'intensité des sons était plus que doublée.

Il construisit alors le simple téléphone récepteur représenté figure 107, formé d'un loquet de porte B, une tige de fer doux d'un millimètre de diamètre CC', planté dans une planchette carrée de sapin de 5 centimètres de côté et une petite bobine A roulée sur un tuyau de plume d'oie. Le transmetteur employé par M. Ader était celui de son électrophone (page 261), mais tous les transmetteurs à charbon peuvent faire parler le téléphone ainsi constitué. On peut, avec ce petit instrument, faire une expé-

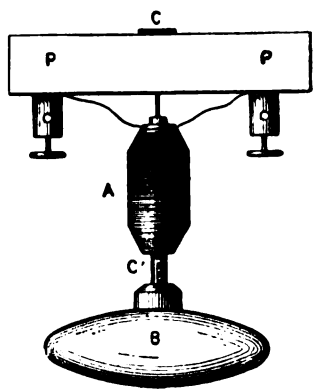


Fig. 107. — Téléphone sans diaphragme et sans aimant de M. Ader.

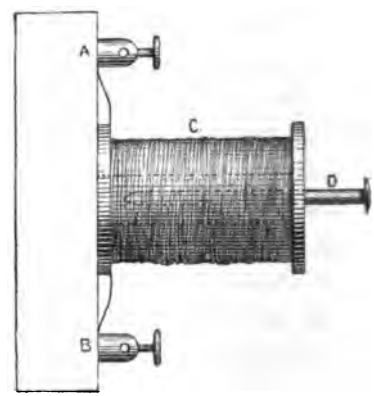


Fig. 108. — Téléphone sans noyau de fer de M. Ader.

rience de *spiritisme* assez amusante en fichant le fil de fer CC' sur une table par dessous, en dissimulant habilement les conducteurs et en faisant parler dans le transmetteur un compère placé dans une pièce un peu éloignée. Si l'expérience est faite dans le silence, à une heure avancée de la nuit, par exemple, toute la table parle, on peut l'entendre en se plaçant assez près tout autour, et cette expérience produit l'effet le plus singulier sur les personnes crédules ou impressionnables.

M. Ader en continuant ses expériences a construit un second téléphone encore plus simple (fig. 108); il est formé d'une planchette AB et d'une bobine C sur laquelle est roulé un fil fin avec

Digitized by Google

des spires très peu serrées, collée sur la planchette. L'appareil parle dans ces conditions sous l'action d'un transmetteur à charbon et de trois piles Leclanché. Si les spires sont trop serrées ou noyées dans la gomme laque, le téléphone ne parle plus, mais en introduisant dans la bobine un clou D, un petit fil de fer ou une aiguille aimantée venant appuyer contre la planchette, aussitôt on perçoit très distinctement la parole. En retirant le clou, le téléphone redevient muet.

Téléphone sans diaphragme, sans aimant et sans bobine. — Le téléphone récepteur suivant est encore plus simple. Il se compose d'une tige de fer doux A (fig. 109) et d'une planchette de bois B. En appliquant la planchette B contre l'oreille et une masse métallique pesante à l'autre extrémité du fil A, M. Ader a pu reproduire la parole en employant un transmetteur à charbon. De la Rive, en 1846, avait constaté les sons produits dans des conditions analogues avec des courants *interrompus*, mais M. Ader est le premier qui ait reproduit les sons articulés par des moyens aussi simples. Il faut ajouter cependant que ces sons sont très faibles, mais ils sont néanmoins très distincts et nous devons remercier ici M. le comte du Moncel qui a bien voulu nous répéter *toutes* les expériences que nous venons de signaler, et dont nous garantissons la parfaite exactitude.

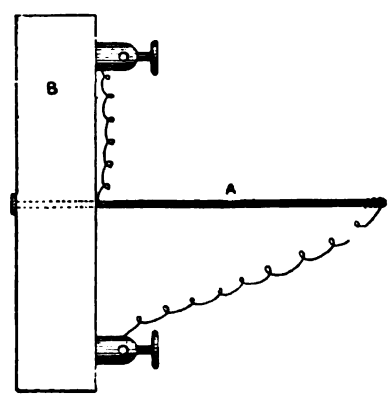


Fig. 109. — Téléphone à fil de fer de M. Ader.

Depuis les expériences de M. Ader, M. *Boudet* de Paris a construit un téléphone récepteur analogue à celui de la figure 108, dans lequel la planchette de bois est remplacée par un diaphragme d'acier. Cet appareil reproduit la parole avec le parleur microphonique du même auteur en employant un seul élément Leclanché. M. *Percival Jenns* a construit

Digitized by Google

aussi un téléphone récepteur sans diaphragme ni aimant formé d'une carcasse de bobine en fer, garnie de fil comme les bobines des électro-aimants ordinaires. L'appareil reproduit la parole en employant comme parleur le transmetteur à charbon d'Edison.

Tous ces phénomènes s'expliquent, comme nous le verrons tout à l'heure, par les effets de Page que Reiss a appliqués pour la première fois à son téléphone musical.

Téléphone thermique de M. Preece. — M. *Wiesendanger*, en septembre 1878, rapportait la reproduction de la parole, dans certains téléphones, à des mouvements vibratoires résultant de dilatations et contractions moléculaires déterminées par des variations d'échauffement résultant des courants d'intensité variable transmis à travers les circuits téléphoniques.

Nous avons nous-même constaté, dans des expériences d'éclairage par incandescence à fil de platine avec les courants alternatifs, que les petites spirales émettent un son dont la hauteur dépend de la vitesse de la machine, et comme, dans ces machines, le courant passe par zéro à chaque changement de sons, ils produisent un son dû certainement aux échauffements et aux refroidissements successifs produisant des dilatations et des contractions de la spirale incandescente.

M. Wiesendanger donnant son explication des mouvements thermiques, on faisait une objection tirée de la lenteur des phénomènes calorifiques dont l'action matérielle ne serait pas assez prompte pour produire des vibrations.

M. *Preece*, ingénieur en chef du Post-office de Londres, a repris ces études, et, après une série de tâtonnements, est arrivé à construire un véritable *téléphone thermique* formé d'un fil de platine de sept ou huit centièmes de millimètre de diamètre et 15 centimètres de longueur, fixé par l'une de ses extrémités à un support et par l'autre à un disque en carton ou une plaque vibrante.

L'appareil simple de M. Preece fonctionne avec un parleur à charbon d'Edison ; les effets sont dus à la rapidité avec laquelle les fils fins gagnent et perdent leur température et la sensibilité

Digitized by Google

extrême à la dilatation des fils fins de grande résistance électrique.

Microphones transmetteurs employés comme récepteurs. — M. Preece attribue à des causes analogues les phénomènes observés pour la première fois par M. Hughes, peu de temps après la découverte du microphone. M. Hughes montra que le microphone était reversible, comme le téléphone magnétique, capable de transmettre ou de recevoir les vibrations. Il n'y a donc plus ici ni plaque, ni bobine, ni aimant, ni fil magnétique. Rien que deux morceaux de charbon à chaque poste reliés par deux conducteurs avec une pile intercalée dans le circuit.

L'expérience est assez délicate, et tous les microphones ne reproduisent pas au même degré le phénomène que nous signalons : le microphone de M. Boudet de Paris est celui qui donne les meilleurs résultats, mais il faut pour cela que les deux appareils identiques, parleur et récepteur, soient parfaitement réglés. Un seul élément Leclanché suffit alors pour produire ces effets.

MM. *Pollard et Garnier* ont pu aussi faire parler leur transmetteur à charbon de la même manière, et M. *Carlo Resio*, de Gênes, a pu faire parler un *transmetteur à liquide* comme récepteur. Il est impossible d'expliquer exactement, dans l'état actuel de la science, ce qui se passe dans ces transmissions téléphoniques.

Microphone parleur-transmetteur de M. Blyth. — Dans une boîte plate de 30 centimètres de longueur sur 20 de large, M. *Blyth* dispose des charbons échappés à la combustion et désignés en Angleterre sous le nom de *cinders gas*, deux plaques de fer-blanc aux extrémités de cette boîte remplie de cinders gas, et le microphone est constitué.

D'après M. Blyth, en plaçant deux microphones semblables sur le circuit d'une pile de deux éléments de Grove *on peut entendre* la parole émise devant l'un de ces microphones dans l'autre fonctionnant comme récepteur.

M. *du Moncel* a modifié l'appareil de Blyth en employant des

Digitized by Google

fragments de coke un peu gros et deux électrodes l'une en zinc, l'autre en cuivre. En mettant de l'eau dans la boîte et en attachant les deux électrodes de l'appareil ainsi constitué aux deux bornes d'un téléphone Bell, on constitue un système téléphonique dans lequel *la pile sert de transmetteur*, et le transmetteur sert de pile. Les variations de résistance intérieure dues aux légers mouvements du charbon dans cette singulière *pile-microphone* produisent les courants ondulatoires qui se transforment en paroles articulées dans le téléphone de Bell.

Téléphone électro-chimique d'Edison. — Dans ce téléphone, nous n'avons à signaler que le récepteur, car le transmetteur n'est autre que le transmetteur à charbon d'Edison.

Examinons d'abord le principe de l'appareil qui a permis à Edison de construire son téléphone électro-chimique, principe appliqué d'abord par l'inventeur à un relais télégraphique, sous le nom d'*electro-motograph*. Trempons une feuille de papier buvard dans une solution saturée de potasse et plaçons-la sur une plaque métallique, reliée au pôle positif d'une pile composée de deux ou trois éléments Leclanché. En promenant à la surface du papier une lame de platine de 1 centimètre de largeur environ et en exerçant sur cette lame une certaine pression, nous sentions une *résistance au glissement*, résistance due au frottement de la lame sur le papier dont la surface présente une certaine rugosité. Si, tout en faisant glisser la lame de platine, nous la mettons en communication avec le pôle négatif de la pile, la résistance au glissement va être diminuée dans de très grandes proportions : le courant électrique a donc eu pour effet de lisser, de lubrifier, de savonner en quelque sorte, la surface du papier rugueux à l'origine, en propres termes de *diminuer le coefficient de frottement* entre la lame de platine et la surface du papier. Cet effet du courant électrique est proportionnel à l'intensité du courant, commence avec lui et s'achève avec lui ; il est tellement sensible que les plus faibles courants, ceux, par exemple, qui sont sans action sur les électro-aimants, sont rendus ici très perceptibles.

Il est actuellement bien difficile de dire exactement ce qui se

Digitized by Google

passe dans ce phénomène ; pour nous, il nous suffit de retenir l'effet et de nous rappeler qu'un courant électrique d'intensité variable peut produire un glissement variable et proportionnel à l'intensité de ce courant. Cela bien établi, il est facile de voir comment fonctionne le récepteur d'Edison dont la figure 110 représente une vue intérieure et la figure 111 le diagramme de principe. Une lame mince de mica de 8 à 9 centimètres de diamètre

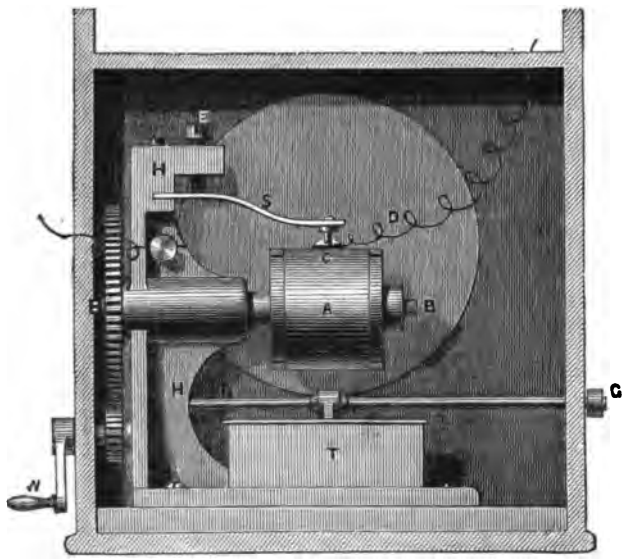


Fig. 110. — Vue intérieure de l'*electro-motograph* d'Edison.

A, cylindre de chaux et de potasse hydratée ; — B, axe du cylindre mis en mouvement par la manivelle N ; — C, lame de platine reliée à la membrane de mica ; — D, fil de ligne ; — E, vis de réglage du ressort S ; — H, support ; — S, ressort venant exercer une pression convenable sur la lame C ; — T, réservoir contenant une dissolution de potasse ; — G, levier servant à manœuvrer le rouleau humecteur.

porte à son centre une lame de platine C qui vient s'appuyer sur le cylindre A avec une pression constante due au ressort S et réglée par la vis E.

Le cylindre A est fait avec une pâte composée de chaux, d'hydrate de potasse et d'une petite quantité d'acétate de mercure. Cette pâte joue le rôle de papier imbibé de la solution de potasse dans l'expérience précédente.

Ce cylindre tourne d'un mouvement régulier à l'aide d'un en-

Digitized by Google

grenage et de la manivelle W. Dans les nouveaux appareils, ce système est remplacé par un mouvement d'horlogerie.

Le courant électrique venant du transmetteur arrive par le bâti H, traverse le cylindre A recouvert de la pâte, la lame de platine et sort par le fil D pour aller à la terre. En faisant tourner le cylindre A (fig. 111) dans le sens des aiguilles d'une montre, le frottement entre la lame C et la surface du cylindre A produira une traction sur la lame C et la plaque de mica, à cause de son élasticité, prendra une certaine position d'équilibre qui dépendra de la traction de la lame C et par suite du frottement entre A et C; chaque variation dans l'intensité du courant qui traverse A et C se traduira donc par une variation dans la traction de la lame C; il en résultera un certain déplacement de la lame de mica qui vibrera ainsi synchroniquement avec le courant ondulatoire et, par suite, synchroniquement aussi avec la lame du transmetteur.

Le mouvement vibratoire de la plaque de mica n'est donc pas obtenu directement par le courant électrique, mais il est produit mécaniquement par la rotation du cylindre A, le courant produit seulement une sorte d'embrayage à glissement variable, ce qui explique la grande puissance de l'instrument.

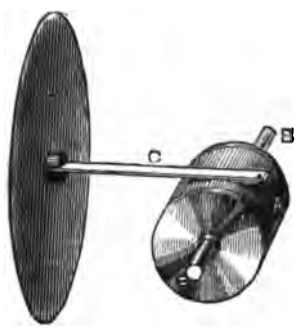


Fig. 111. — Diagramme du récepteur électro-chimique d'Edison.

D'autre part, la lame de mica présentant une faible inertie et une assez grande élasticité obéit très bien aux efforts que la lame C lui transmet. Il est à peine besoin de faire remarquer que si l'on néglige de tourner la manivelle, le téléphone reste muet.

Le sens de la rotation est indifférent, la lame de platine C agit, suivant les cas, en tirant ou en poussant la plaque de mica.

La substance qui recouvre le cylindre A devant toujours rester humide, on obtient ce résultat en soulevant de temps en temps un

Digitized by Google

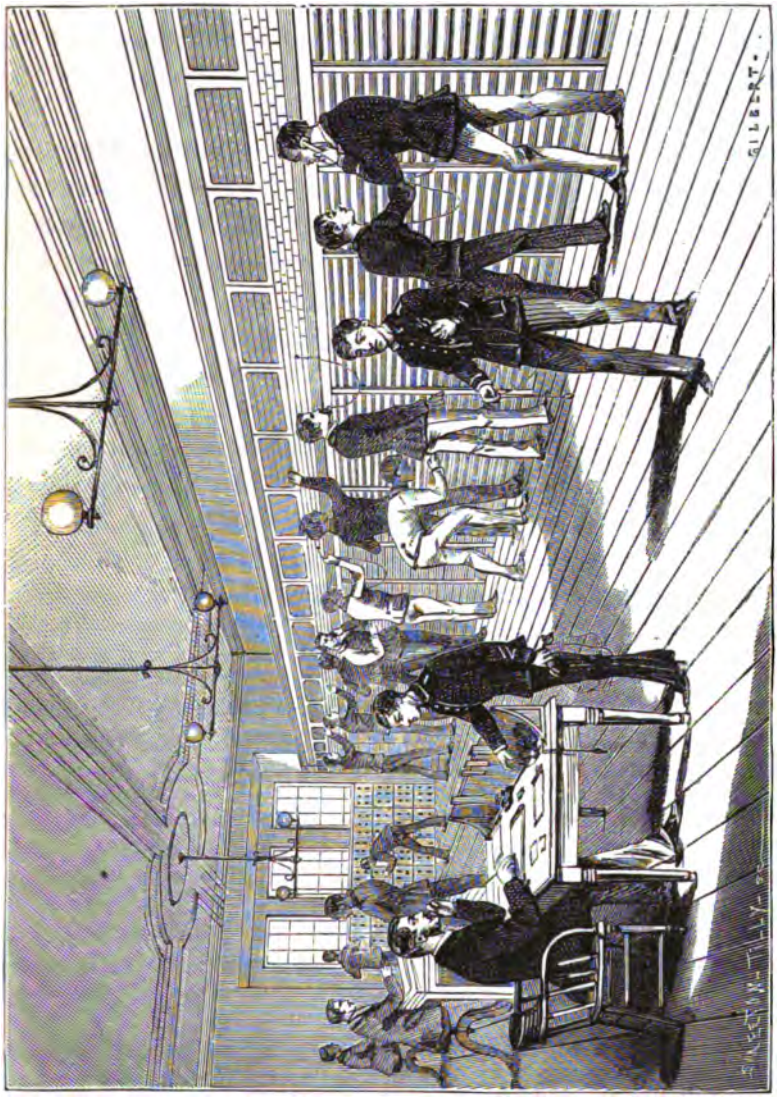


Fig. 112. — Vue intérieure du poste central du *Merchant's telephone Exchange* à New-York (p. 293).

Digitized by Google

petit rouleau plongeant dans une solution de potasse hydratée placée dans le réservoir T (fig. 110).

Dans les modèles plus perfectionnés, le cylindre est formé d'une composition qui peut rester *sèche*, ce qui enlève au téléphone chimique une partie assez fastidieuse de son fonctionnement.

La main, organe récepteur d'un système téléphonique. — Les appareils capables de transformer le courant vibratoire émis par un transmetteur téléphonique à pile peuvent prendre, comme nous l'avons dit, les formes les plus bizarres et les plus inattendues.

En poursuivant ses expériences sur la transmission des sons musicaux, M. Gray arriva à construire un téléphone dans lequel *la main de l'opérateur* servait de récepteur.

Le phénomène fut d'abord observé par M. Gray sur la doublure en zinc d'une baignoire et voici comment l'auteur décrit l'expérience et l'appareil auquel il fut conduit :

Mon neveu jouait avec une petite bobine d'induction, et, suivant son expression, donnait des commotions, pour amuser les petits enfants. Il avait relié l'une des extrémités du circuit induit à la doublure en zinc d'une baignoire sèche à ce moment-là. Tenant de la main gauche l'autre extrémité de la bobine, il toucha le zinc de la main droite. Lorsqu'il établissait ainsi le contact, la main glissait un peu le long de la paroi ; à ce moment j'entendis un son sortir de dessous sa main au point de contact. Ce son me parut être de même hauteur et de même qualité que celui de l'interrupteur ou électrotone vibrant de l'appareil, que j'entendais également.

Immédiatement je pris l'électrode dans ma main, et, répétant l'opération, je trouvai, à ma grande surprise, qu'en frottant dur et vite, je produisais un son plus clair que celui de l'interrupteur.

Poursuivant cette idée suggérée par l'expérience de la baignoire, je construisis plusieurs appareils avec des plaques métalliques pour la réception d'un son au moyen du frottement de la main. Un moyen commode d'établir ce résultat est le suivant :

L'instrument est composé d'un support métallique d'un poids suffisant pour le maintenir fixe pendant la manipulation. Sur le support est monté un arbre horizontal reposant sur des coussinets. L'une des extrémités de l'arbre porte une manivelle dont la poignée est faite d'une substance isolante ; sur l'autre extrémité est cintrée une caisse en bois mince, sonore et de forme cylindrique, dont la surface est revêtue d'une garniture ou coiffe

Digitized by Google

de métal à laquelle on donne une forme convexe pour plus de solidité. Cette caisse a une ouverture au centre afin d'augmenter les qualités sonores. La caisse de métal est en communication électrique avec le support métallique au moyen d'un fil. Si l'opérateur relie la garniture métallique à la terre par l'intermédiaire du support, et, saisissant d'une main l'extrémité de la ligne, presse les doigts contre la caisse qu'il fait tourner de l'autre main au moyen de la manivelle, le son émis à l'extrémité de la ligne est entendu distinctement même dans toute l'étendue d'une salle très grande. Ces conditions étant bien remplies, plus on donne un mouvement rapide à la plaque, plus les sons musicaux sont clairs, plus le mouvement est lent, plus le son est doux. Lorsque le mouvement s'arrête, le son cesse complètement....

Téléphone à mercure de M. Antoine Bréguet. — L'appareil de M. Bréguet met en action les forces électro-capillaires et les courants électriques qu'elles développent.

Le phénomène qui a servi de point de départ à M. Bréguet est absolument reversible : le transmetteur et le récepteur sont donc deux appareils identiques.

Le téléphone à mercure ne diffère de l'électromètre de M. Lippmann qu'en ce qu'il est plus simple et de plus petit volume.

La pointe d'un tube capillaire T (fig. 113), contenant du mercure M, plonge dans un vase V. Dans ce vase se trouve une couche de mercure M′, surmontée d'eau acidulée A, de façon que la pointe capillaire ne pénètre pas dans la couche de mercure, mais seulement dans l'eau acidulée.

Deux fils de platine P et Q communiquent respectivement avec le mercure M et le mercure M′.

Si ces deux fils sont réunis entre eux, le niveau du mercure dans le tube capillaire s'établira à une hauteur invariable. Mais, si l'on interpose dans le circuit des fils de platine une source électrique, le niveau prendra une autre disposition d'équilibre dépendant du potentiel de cette source.

En résumé, à chaque différence du potentiel correspondra un niveau déterminé à la surface inférieure du mercure. Au-dessus du mercure M se trouve une masse d'air S dont la pression varier a évidemment toutes les fois que le niveau du mercure variera lui-même.

Digitized by Google

L'appareil est reversible, c'est-à-dire que si, par une modification de la pression S, le niveau du mercure subit un déplacement, une différence de potentiel ou, en d'autres termes, une force électro-motrice s'établira dans les deux conducteurs P et Q.

Accouplons deux appareils semblables, en faisant communiquer les fils P et P_1, Q et Q_1, ainsi que le montre la figure 113. Exerçons une pression en S ; une force électro-motrice dépendant de la valeur de cette pression prendra naissance dans le circuit, et cette force électro-motrice produira un changement dans le

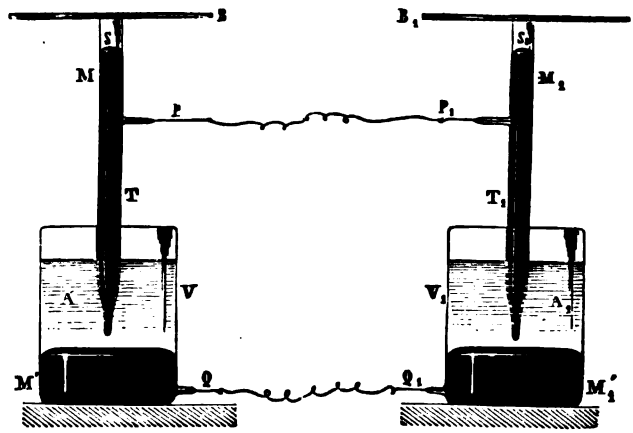


Fig. 113. — Téléphone à mercure de M. A. Bréguet.

niveau du mercure M_1 du second appareil. La pression en S_1 y sera par conséquent modifiée.

Si l'on parle au-dessus du tube T, l'air contenu dans ce tube entre en vibration. Ces vibrations sont communiquées au mercure qui les traduit en variations de force électro-motrice, et ces variations engendrent dans l'appareil récepteur des vibrations exactement correspondantes de la masse d'air S_1, de sorte que, si l'oreille se trouve placée au-dessus du tube T_1, on entendra toutes les paroles prononcées dans le tube T.

Au lieu de profiter des déplacements du mercure, on peut profiter des déplacements de son enveloppe de verre qui présente

Digitized by Google

moins de masse que lui. Il est clair, en effet, que le rapport des deux masses attirantes et attirées doit être aussi différent que possible, afin de considérer l'une des deux masses comme immobile, et par conséquent l'autre masse comme animée d'un déplacement maximum.

Téléphone sans récepteur. — Dans des expériences curieuses, faites par M. *Crépaux*, chef de bataillon du génie à Lunéville, la parole émise par le transmetteur a pu être entendue au poste récepteur *sans téléphone du tout*. Voici comment M. Crépaux a décrit ces expériences à la Société d'encouragement, dans sa séance du 13 juin 1879 :

Il y a, à Lunéville, une installation téléphonique faite dans des conditions assez primitives. Le fil de ligne est un fil de fer galvanisé de 3 millimètres, très tendu. Il est fixé à un poteau au-dessus d'un grenier et il s'infléchit à angle obtus sur la gaine d'une cheminée en briques du bâtiment voisin, éloigné d'une dizaine de mètres. La gaine de la cheminée correspond naturellement à l'âtre, dans une chambre du premier étage du bâtiment. Quand on parle dans le téléphone d'une station à l'autre, non seulement le récepteur *parle*, et, pour l'entendre, il faut le mettre près de l'oreille, mais, fait inexplicable, la cheminée, où s'infléchit le fil, *parle*, l'âtre *parle*, et une personne couchée dans la chambre entend, de son lit, *toutes les paroles* transmises au fil, plus distinctement que ceux qui, à l'extrémité de la ligne, se servent de l'appareil récepteur. Impossible de nier ce fait, dont j'ai été témoin plusieurs fois. On a isolé le fil de la gaine de cheminée au moyen de plaques de verre; la *parole* n'a pas, pour cela, cessé d'être entendue : à la station la plus éloignée, à 200 ou 250 mètres de distance environ, un fait semblable s'est produit.

Le fil de terre suit, dans son parcours, un tuyau de descente en zinc, ce tuyau a des ramifications aboutissant à des pierres à évier : la pierre à évier *parle*.

J'ai entendu dire qu'à chaque point d'attache le fil de ligne *parlait*; ainsi, si on lui fait faire quelques tours autour d'un clou fiché dans la muraille, le nœud ainsi produit *parle*.

Il est probable que le fait, dont je rends compte, ne se produit que dans les environs des points d'attache et de contact.

Ces expériences, dans lesquelles les actions en jeu ont une puissance extrêmement faible, montrent combien l'oreille est un organe d'une sensibilité et d'une délicatesse prodigieuses.

Nous devons signaler encore les transmissions téléphoniques à

Digitized by Google

circuit ouvert de MM. Watson et Ader dans lesquelles les actions paraissent dues à des phénomènes de charge et de condensation mal étudiés, et enfin la merveilleuse découverte nouvelle de M. *Graham Bell*, dont la nouvelle nous arrive au moment de mettre sous presse et dont nous ne pouvons qu'exposer rapidement le principe.

Photophone ou télégraphe optique de MM. Graham Bell et Sumner Tainter. — Il résulte d'expériences déjà anciennes, — la première date de 1872, — que le sélénium est un corps très sensible à la lumière qui a pour effet de modifier sa résistance électrique. MM. Bell et Tainter, après des expériences nombreuses, sont parvenus à exalter cette sensibilité et ont construit un appareil, auquel ils ont donné le nom de *photophone* et qui permet de reproduire la parole à distance par l'intermédiaire d'un rayon lumineux.

Pour cela, on fait tomber sur un miroir mince et flexible bien poli les rayons d'une source lumineuse puissante et fixe, le soleil par exemple.

En parlant derrière ce miroir, on modifie sa courbure de telle sorte que les rayons réfléchis sont dispersés suivant les déformations de cette plaque et varient d'intensité dans une direction donnée.

Au poste récepteur, les rayons lumineux d'intensité variable arrivent sur un miroir parabolique qui les concentre à son foyer où se trouve placé un cylindre de sélénium convenablement préparé. Ce sélénium modifie sa résistance électrique suivant les intensités lumineuses qui le frappent, et comme il est placé dans le circuit d'une pile et d'un téléphone Bell, il agit comme un véritable *microphone* en chargeant l'intensité du courant dans le circuit et fait articuler le téléphone.

Ce résultat est tout simplement merveilleux et fait le plus grand honneur à l'imagination des inventeurs dont l'éloge, pour M. Bell du moins, n'est plus à faire dans cet ouvrage.

Nous devons borner là notre revue des téléphones spéciaux dont les formes sont innombrables comme les actions qui les

Digitized by Google

mettent en jeu ; nous avons voulu seulement signaler ici les plus nouveaux et les plus intéressants.

Après cet examen, il nous est plus facile de donner une théorie, sinon complète, du moins plus exacte, du téléphone, théorie qui, depuis la merveilleuse découverte de Graham Bell, a fait des progrès rapides et a donné un nouvel essor aux recherches acoustiques en mettant entre les mains des chercheurs un puissant instrument d'observation.

Théorie du téléphone. — La théorie du téléphone transmetteur ne souffre aucune difficulté et a été exposée plusieurs fois au cours de cette étude, nous n'y reviendrons pas. Les discussions qui se sont produites au sujet de la théorie du téléphone avaient surtout trait à l'appareil récepteur. Comment un récepteur téléphonique, un téléphone Bell par exemple, transforme-t-il un courant ondulatoire en son articulé ? Quels sont les phénomènes physiques qui concourent à cette transformation ?

Nous avons admis comme *théorie provisoire*, commode pour l'explication des appareils, que le courant ondulatoire produisait dans le récepteur des renforcements et des affaiblissements successifs de la puissance magnétique de l'aimant se traduisant par des attractions plus ou moins grandes de la plaque *vibrant* alors synchroniquement avec les ondulations du courant et de la puissance magnétique du barreau aimanté.

Cette explication possible et quelquefois vérifiée dans les téléphones à pile avec transmetteur à charbon est inadmissible avec le téléphone Bell. M. le comte du Moncel, qui, dès l'origine du téléphone, a rejeté cette explication, a vu confirmer en partie ses idées par les nombreuses expériences qui ont suivi l'invention de Bell ; aujourd'hui sa théorie est presque universellement admise et c'est celle que nous voulons résumer ici en quelques lignes.

Il résulte d'expériences et de mesures nombreuses faites par MM. *Waren de la Rue, Brough*, *Galileo Ferrari*, que l'intensité des courants développés par un téléphone Bell ne dépasse pas celle d'un élément Daniell qui aurait traversé 10 millions de kilo-

Digitized by Google

mètres de fil télégraphique, c'est-à-dire *cent millions de ohms*, ce qui représente un circuit télégraphique d'une longueur égale à 250 fois le tour de la terre.

Il était bien difficile d'admettre que les différences de magnétisme produites dans le barreau aimanté par des courants d'aussi faible intensité se traduisent par des variations dans l'attraction de la plaque vibrante placée à distance.

Les expériences de M. Bréguet, faites avec des plaques de 15 centimètres d'épaisseur, et celles de M. Ader qui n'emploie pas de plaque du tout, rendaient difficile une explication basée *seulement* sur les attractions magnétiques.

Les expériences de Page ont montré qu'une tige de fer placée dans une bobine vibre sous l'action de courants interrompus. Le téléphone musical de Reiss est, comme nous l'avons vu, une application de ce phénomène.

Ces vibrations sont déterminées au sein du noyau magnétique par suite des aimantations et des désaimantations de ce noyau. Dans le téléphone Bell, le noyau vibre *longitudinalement* sous l'action du courant ondulatoire qui traverse la bobine.

Ce deuxième phénomène ne suffit pas cependant à expliquer le téléphone de M. Ader sans noyau magnétique; il faut admettre une troisième action due aux réactions des spires de l'hélice les unes sur les autres. Dans d'autres cas, il se produit aussi des réactions entre l'hélice et le barreau magnétique qui contribuent à la production des sons.

Enfin, on constate quelquefois une cinquième action, d'origine purement mécanique, se produisant comme la transmission des sons à travers les corps solides; les expériences de M. Crépaux en sont l'exemple le plus remarquable et le plus curieux.

Dans un téléphone donné, les cinq actions principales que nous signalons ne se produisent pas toutes au même degré: quelquefois l'une d'elles est prédominante, d'autres disparaissent complètement; dans certains cas toutes les cinq agissent quoique à des degrés différents. Dans certains téléphones la vibration propre de la plaque joue un rôle assez considérable pour donner

Digitized by Google

aux transmissions un timbre de *Polichinelle* tout particulier, mais ce fait doit être reproché surtout au transmetteur qui envoie dans la ligne un courant ondulatoire *déformé* par l'action propre de sa plaque vibrante.

Il ne faudrait cependant pas admettre d'une façon absolue que les courants téléphoniques provenant d'un transmetteur magnétique ne puissent produire les vibrations d'un diaphragme, par attractions purement magnétiques. L'avertisseur de M. Ader fonctionne, comme nous le verrons plus loin, avec les courants développés par le téléphone magnétique de M. Gower. Il y a bien là une action magnétique directe produisant une véritable attraction.

Nous devons conclure de ces quelques considérations, que nous n'avons pas le loisir de développer davantage dans un ouvrage élémentaire, que la théorie du téléphone est fort complexe et qu'il est très difficile de déterminer l'importance du rôle joué par chacune des actions que nous venons de définir. Les discussions nombreuses provoquées par cette théorie viennent de ce que l'on a exagéré l'influence de chacune de ces actions individuellement et aux dépens des autres. La vérité est qu'elles sont simultanées et se produisent avec des valeurs relatives différentes pour chaque cas particulier. En tout cas, il est certain que les actions moléculaires, encore si peu étudiées, ont une large part dans les phénomènes acoustiques, et que le téléphone, comme le phonographe, aura donné un nouvel essor aux recherches faites de ce côté, en ouvrant à cette branche de la physique un nouvel horizon aussi immense qu'inconnu.

Digitized by Google

CHAPITRE IV

LES APPLICATIONS DU TÉLÉPHONE

Le téléphone n'a que quatre années d'existence, puisque la découverte de Bell ne remonte qu'à l'année 1876, et il faudrait plusieurs volumes pour passer en revue toutes les applications qu'il a déjà reçues en un si court espace de temps.

Nous choisirons, parmi les applications du téléphone, quelques-unes des plus importantes ou des plus curieuses, au premier rang desquelles il convient de placer les communications téléphoniques.

COMMUNICATIONS TÉLÉPHONIQUES.

Cette application du téléphone, toute naturelle d'ailleurs, est celle qui a reçu jusqu'ici le plus grand développement, mais malgré tout l'avenir qui lui est réservé, — un avenir immense, à notre avis, — nous devons nous tenir en garde contre les exagérations qui ont suivi l'apparition du téléphone.

On avait cru, dans le principe, à une révolution complète du service télégraphique, mais il a fallu en rabattre pour deux excellentes raisons. Le téléphone ne conserve pas trace des messages envoyés et, d'autre part, sa rapidité n'est pas comparable à celle des télégraphes perfectionnés qui, comme nous le verrons, débitent jusqu'à *huit mille mots par heure* avec un seul fil.

Il présente cependant l'immense avantage de pouvoir être em-

Digitized by Google

ployé par le premier venu, sans éducation spéciale ; aussi l'emploie-t-on pour le service des établissements publics, le service des mines, les travaux sous-marins, la marine, l'armée, etc.

Le téléphone, pas plus qu'un autre appareil, ne représente la *panacée* universelle devant guérir tous les maux. Il faut donc employer le téléphone dans tous les cas où il peut rendre des services, et ne pas vouloir l'appliquer dans ceux où il ne remplirait qu'incomplètement les fonctions qu'on pourrait en exiger.

Au point de vue spécial des communications téléphoniques, l'appareil peut et doit jouer un grand rôle que nous allons maintenant examiner.

Communications téléphoniques dans les villes. — Le service de communications téléphoniques en fonctionnement ou en voie d'établissement dans la plupart des grandes villes de l'ancien et du nouveau monde consiste dans l'établissement d'un bureau central en correspondance avec tous les abonnés.

Le bureau central a pour but de répondre aux appels faits par les abonnés, de les mettre sur leur demande et pendant un temps déterminé en relation avec l'un quelconque des autres abonnés. On voit déjà tous les avantages de cette combinaison : chaque abonné nouveau constitue pour tous les autres un nouveau correspondant, ce qui accroît chaque jour l'importance et l'utilité du service. Sans entrer dans des considérations générales qui se développent d'elles-mêmes dans l'esprit du lecteur, nous choisirons quelques exemples de communications téléphoniques en décrivant les systèmes employés en Amérique et à Paris pour établir un service régulier de communications.

Les communications téléphoniques en Amérique. — Alors que les communications téléphoniques commencent à peine leurs installations à Paris, on compte actuellement dans le Nouveau-Monde 85 villes qui se servent journellement des communications téléphoniques. A Chicago il y a 3,000 abonnés, 600 à Philadelphie, autant à Cincinnati, un nombre sans cesse croissant à New-York ; le chiffre des abonnés aux Compagnies téléphoniques en Amérique dépasse aujourd'hui 70,000. Pour prendre un

Digitized by Google

exemple dans le service courant, transportons-nous à New-York par la pensée, et voyons comment fonctionne le service du téléphone. Si nous pénétrons au milieu de la grande salle du bureau central du *Merchant's Telephone Exchange*, établi 198 Broadway (fig. 112), nous verrons une série de *switchman* (employés) occupés à établir les communications entre les abonnés. Là c'est un switchman correspondant avec un des abonnés qui a appelé (fig. 114) ; plus loin c'est un autre employé occupé à relever le signal d'avertissement (fig. 115). Dans la ville, chez l'abonné, est le *téléphone de bureau*, tel qu'on l'installe dans un grand nombre de maisons (fig. 116) ; ce modèle est très commode pour les affaires, car il permet de parler dans l'embouchure placée à gauche, d'écouter avec le téléphone, qu'on décroche pour l'appliquer à son oreille, et en même temps de prendre des notes sur le pupitre avec la main restée libre.

Avant de suivre la série des opérations qui constituent un appel complet, examinons rapidement le système de téléphones employés dans le bureau de Broadway.

Ce système appartient à la classe des *téléphones à pile*, ce qui permet d'utiliser ces piles pour faire les appels chez les abonnés, à l'aide de sonneries ordinaires, sonneries représentées sur le pupitre de la figure 116.

Transmetteur. — Le transmetteur est le téléphone à charbon d'Edison, fondé sur les variations de résistance électrique produites par les variations de pression qu'exerce la plaque lorsque l'on parle devant l'embouchure. Le circuit est formé par la pile, — deux éléments Leclanché — le transmetteur et une petite bobine Ruhmkorff sans trembleur. Il constitue le circuit primaire de la bobine. La ligne et le récepteur de l'autre poste sont reliés au fil secondaire de la bobine, fil dont l'autre extrémité est reliée au récepteur du poste et à la terre.

Récepteur. — Le récepteur est un téléphone Phelps, analogue au téléphone Bell, mais dont l'aimant est retourné en forme d'anneau, ce qui rend son maniement assez facile (fig. 116). Dans la position de repos ou d'*attente*, le téléphone est pendu à

Digitized by Google

son crochet, et par ce fait seul, il fait basculer une pièce formant commutateur, qui supprime toute la partie téléphonique du circuit pour n'y intercaler que la sonnerie. On est donc ainsi prêt pour un appel. En prenant le téléphone à la main, la pièce, en basculant de nouveau, remet automatiquement toutes les communications sur *téléphone*.

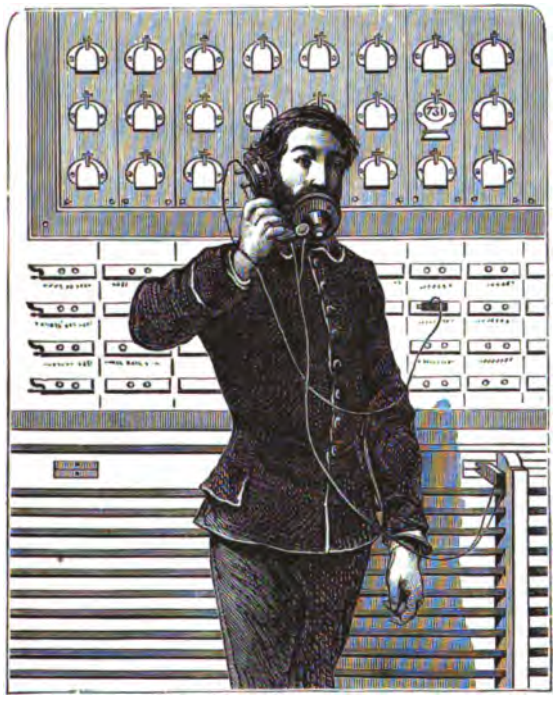


Fig. 114. — *Switchman* ou employé du téléphone correspondant avec un abonné.

Les téléphones des employés du poste central, parleur et récepteur, sont analogues à ceux des abonnés, mais pour faciliter le maniement de ces appareils, le parleur et le récepteur sont montés sur une même tige en acier un peu recourbée qui sert de poignée, comme cela est représenté figure 114, et forme en même temps l'aimant du récepteur. Nous allons pouvoir suivre maintenant toute la série des opérations.

Digitized by Google

Supposons que l'abonné 731, que nous nommerons Édouard, veuille correspondre avec l'abonné 511, que nous appellerons Léon. Édouard commence par appuyer sur un petit bouton placé sur le côté droit du pupitre (fig. 116). Comme le téléphone est suspendu, il en résulte que, dans cette position, le courant de la pile d'Édouard traverse la ligne et un petit électro-aimant

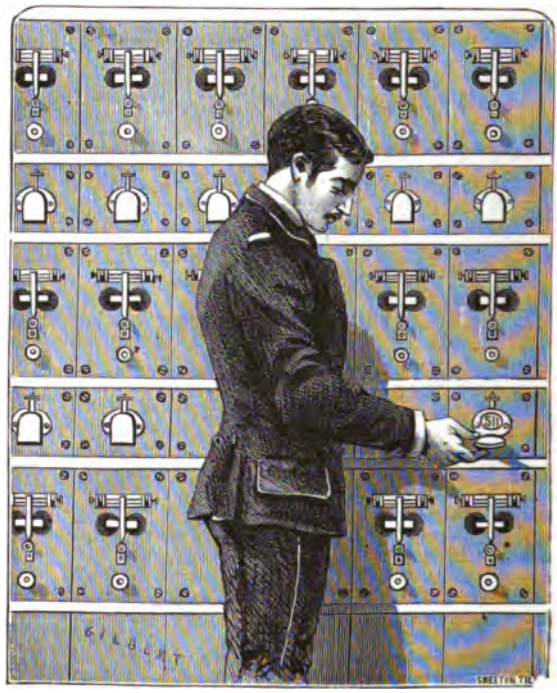


Fig. 115. — Employé occupé à relever le signal d'avertissement.

placé au poste central; l'électro-aimant devenant actif a pour effet de détacher un petit guichet (fig. 115), qui tombe avec un petit bruit sec suffisant pour appeler l'attention de l'employé, et fait apparaître le numéro 731. L'employé ainsi prévenu se met alors en communication avec Édouard, en plaçant le fil qui correspond à son téléphone sur une barre de cuivre longitudinale reliée aussi à la ligne d'Édouard. La conversation s'engage alors,

Digitized by Google

en commençant par ce cri bizarre, mais, paraît-il, très commode : *Hallo ! Hallo !*

Édouard demande à l'employé de le mettre en correspondance avec le n° 511. Si le n° 511 est libre en ce moment, l'employé appuie sur un bouton après avoir eu soin de relier le fil du n° 511 à ce bouton. La sonnerie de Léon se met en marche, et lorsque Léon est prêt à correspondre, il appuie sur son bouton de son-

Fig. 116. — Téléphone de bureau installé chez un abonné à New-York.

nerie, ce qui a pour effet de faire tomber le guichet correspondant à son numéro. En mettant alors un fil de communication directe entre les deux barres horizontales qui correspondent aux fils de ligne d'Édouard et de Léon, la communication entre ces deux correspondants est établie. Si, à ce moment, on oblige l'employé à retirer son téléphone du circuit, la conversation entre Léon et Édouard devient *secrète*. Si, pendant que Léon et Édouard sont en conversation, le n° 42, que nous nommerons

Digitized by Google

Fig. 117. — Bureau central des communications téléphoniques à Paris; système Gower.

Digitized by Google

Jules, veut correspondre avec Léon par exemple, l'employé peut se mêler à la conversation des deux interlocuteurs comme le ferait un domestique venant annoncer un visiteur.

La personne interpellée par l'employé peut donc répondre tout de suite, ou faire annoncer à Jules dans combien de temps elle sera à ses ordres. S'il n'y a aucun inconvénient à ce que la conversation se fasse entre Édouard, Léon et Jules, on peut, en avisant l'employé, établir immédiatement une communication entre ces trois personnes. Cette manœuvre équivaut au « *Faites entrer* » de la vie ordinaire.

Les communications téléphoniques, ainsi conçues et utilisées, peuvent rendre les plus grands services, car elles suppriment les distances et établissent une sorte de *présence réelle* entre les interlocuteurs, qui peuvent s'entendre comme s'ils étaient réunis dans la même pièce, bien que séparés souvent par des distances considérables. Signalons encore quelques dispositions de détail fort ingénieuses.

Lorsque la conversation entre Édouard et Léon est terminée, ils accrochent chacun leur téléphone et appuient sur leurs boutons, il en résulte que le numéro de chacun d'eux réapparaît au poste central. L'employé sait alors que la conversation est finie entre les deux interlocuteurs; il relève les guichets, supprime la communication directe entre Léon et Édouard, et tout est prêt pour un nouvel appel.

Dans les postes où il y a 500 ou 600 abonnés, on doit disposer les numéros par ordre dans des tableaux renfermant chacun 50 à 100 guichets; on emploie alors des dispositions spéciales pour faire communiquer les séries entre elles.

A New-York, le bureau central ne fait pas moins de 600 communications par jour, et tout se passe à la plus grande satisfaction des clients. Le téléphone est devenu pour ceux-ci aussi indispensable que les omnibus pour les Parisiens.

Les communications téléphoniques commencent d'ailleurs à s'introduire dans les mœurs de notre capitale. Deux compagnies se sont partagé pendant plus d'un an le service de ces com-

Digitized by Google

munications au préjudice même des clients et du développement dont ces communications sont susceptibles.

Aujourd'hui une fusion est en voie de réalisation. L'une des compagnies emploie le système Edison dans des conditions presque identiques à celles que nous venons d'examiner. La seconde fait usage du téléphone magnétique de M. Gower et de l'avertisseur de M. Ader; nous examinerons rapidement les dispositions spéciales de ce système.

Quant aux lignes, elles sont aériennes ou souterraines. Chacun des systèmes a ses avantages et ses inconvénients. Les lignes aériennes ont l'avantage de diminuer les effets nuisibles de l'induction réciproque des fils les uns sur les autres, mais sont d'un effet déplorable et deviendront, si leur nombre se multiplie par trop, une source permanente de dangers. Les lignes souterraines, d'un maniement plus facile, demandent d'être réunies en grand nombre dans un câble de faible grosseur relative, pour ne pas encombrer les égouts. Les effets d'induction sont alors très intenses et rendent parfois les communications difficiles.

L'emploi d'un *fil de retour*, c'est-à-dire d'un circuit entièrement métallique, réduit ces inconvénients, mais augmente alors la dépense d'installation.

Les communications téléphoniques, système Gower et Ader. — Le grand avantage des téléphones magnétiques réside dans la suppression de la pile, mais il faut bien avouer que le signal du téléphone Gower est parfois insuffisant et ne laisse pas de trace. Il fallait donc trouver un moyen de laisser une trace véritable de l'appel ou de produire un appel puissant sans l'intervention de piles dont on considérait, au contraire, la suppression comme une supériorité sur le système à charbon d'Edison.

C'est ce problème qu'a résolu M. Ader en imaginant un signal d'avertissement sans pile.

L'appareil de M. Ader, intercalé dans le circuit formé par la ligne et le téléphone de M. Gower, a pour effet de déclancher une

Digitized by Google

armature qui fait apparaître le signal *Répondez* (fig. 118), lorsqu'on souffle dans le téléphone.

Le signal de M. Ader se compose d'un électro-aimant de Hughes à pôles rapprochés A, de deux bobines B et d'une armature en lame de ressort placée devant les pôles de l'électro-aimant. Cette armature est fixée en S et porte à son autre extrémité une petite fenêtre dans laquelle s'engage le crochet C d'une détente fixée à l'extrémité d'un levier LX.

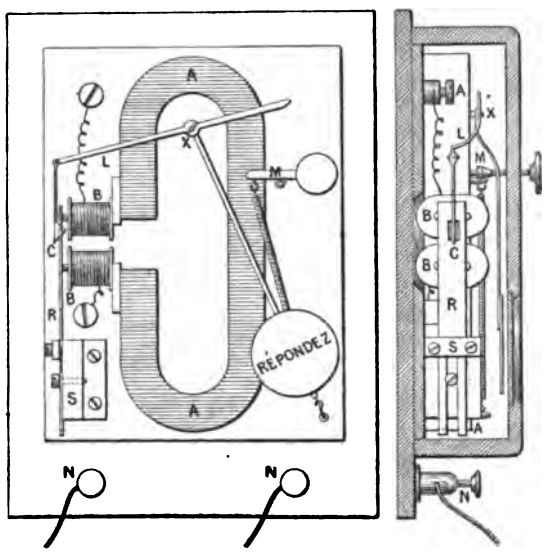


Fig. 118. — Signal électro-magnétique de M. Ader.

Le crochet C est taillé en plan incliné et l'enclanchement n'est effectué que par le frottement sur ce plan incliné d'une des arêtes de l'ouverture du ressort. La lame R est accordée pour vibrer à l'*unisson* des sons émis par la petite languette vibrante du téléphone Gower.

En soufflant dans l'embouchure du téléphone, on envoie dans les bobines B des courants induits qui développent sur la lame R des attractions synchroniques à son mouvement de vibration propre. Ces attractions répétées produisent une série d'impulsions

Digitized by Google

élémentaires faisant vibrer cette lame. Ces vibrations produisent des déclanchements de très petite amplitude comme le ferait un cliquet sur une roue à dents très fines, jusqu'à ce que la dent C quitte l'ouverture, le levier LX bascule et le signal *Répondez* apparaisse au guichet.

Le diagramme de la figure 119 montre la disposition de la lame R et du levier C oscillant autour du point X sous l'influence du poids P. Dans une disposition plus récente, représentée sur la droite du diagramme, le ressort R est incliné, la surface du crochet est horizontale, ce qui donne plus de sûreté au signal. Le déclanchement ne peut se produire qu'en soufflant dans le téléphone et non pas en parlant, il se produit cependant en chantant très fortement dans l'embouchure la note qui correspond à l'anche vibrante du téléphone. Cet appareil est un cas bien déterminé de mouvements d'attraction produits par des courants téléphoniques d'induction, car la lame R ne peut vibrer que sous l'influence des variations de puissance attractive de l'électro-aimant.

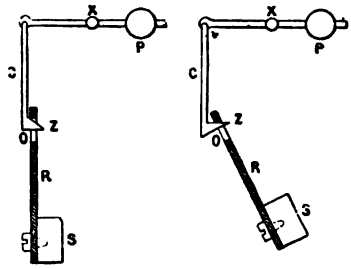


Fig. 119. — Diagramme du déclanchement du signal téléphonique Ader.

Lorsqu'on veut faire un appel plus puissant, le signal de M. Ader peut fonctionner comme relais, — c'est ainsi qu'on l'emploie au bureau central du téléphone Gower ; — il ferme alors le circuit d'une pile locale sur une sonnerie qui fonctionne jusqu'au moment où l'on relève le signal, ou bien ce signal peut produire le déclanchement d'une sonnerie à mouvement d'horlogerie, analogue à celle des télégraphes à cadran de Bréguet.

La figure 117 représente le bureau central des téléphones Gower établi au centre de Paris. Le principe des commutateurs est différent du système américain. Chaque employé est chargé d'un groupe de 30 abonnés disposés sur un petit commutateur. Le premier groupe dessert de 1 à 30, le second de 31 à 60 et ainsi de suite.

Digitized by Google

Les communications sont très faciles à établir lorsque les abonnés qui veulent entrer en communication appartiennent au même groupe, 22 et 25 par exemple.

Le problème est plus complexe lorsqu'il s'agit de faire communiquer deux abonnés appartenant à des groupes différents. On est obligé alors d'avoir recours à un *commutateur de groupes* que l'on voit au fond de la salle et qui sert à établir une communication préalable entre les deux groupes correspondants. Il en résulte que la mise en communication de deux abonnés occupe trois employés au lieu d'un seul, savoir : les deux employés de chaque groupe et l'employé du commutateur central.

Le système est plus compliqué que celui de New-York et amènera inévitablement une certaine confusion lorsque le nombre des abonnés sera plus grand. A Bruxelles, le directeur de la compagnie des téléphones Gower, M. *Gottendorf*, est parvenu, par un procédé aussi simple qu'ingénieux, à supprimer les inconvénients résultant de l'emploi d'un commutateur de groupes.

Il est assez difficile de se prononcer sur la valeur relative des deux systèmes, Edison et Gower, qui présentent chacun des avantages et des inconvénients. Le téléphone Edison est plus puissant que le Gower, mais il demande un réglage plus fréquent et un certain entretien des piles, inconvénient qui disparaît cependant pour l'abonné si la compagnie se charge de l'entretien.

Dans l'un et l'autre système, il se produit des phénomènes d'induction sur les lignes, phénomènes assez puissants pour gêner ces communications à certains moments.

On étudie des dispositions de câbles de nature à faire disparaître les phénomènes secondaires si nuisibles, ou, du moins, de nature à en atténuer la portée; l'avenir nous fera connaître dans quelle mesure on y a réussi.

Téléphones domestiques. — Le téléphone peut recevoir une foule d'applications aux usages domestiques ; nous en signalerons seulement quelques-unes. Un locataire peut établir une correspondance téléphonique avec le concierge de la maison, correspondance qui ne saurait être trop appréciée des visiteurs

Digitized by Google

lorsque l'étage est élevé. Un industriel peut correspondre de son bureau avec le chef d'atelier de son usine, un banquier avec sa maison de banque, un directeur de journal avec l'imprimerie, etc.

Pour toutes ces applications, lorsque les distances ne sont pas trop grandes, et c'est le cas le plus général, les téléphones magnétiques sont les plus simples, en leur adjoignant une sonnerie électrique avec quelques éléments Leclanché. Le téléphone Gower peut aussi servir dans certains cas lorsque les salles où on doit entendre l'appel ne sont pas trop bruyantes et qu'elles sont toujours occupées, comme les bureaux par exemple.

Postes téléphoniques à sonnerie électro-magnétique. — En Amérique, on fait usage, avec le téléphone de M. Bell, de sonneries électro-magnétiques qui dispensent de l'emploi d'une pile ; il suffit de tourner une manivelle pour développer dans un appareil analogue à la machine de Clarke des courants électro-magnétiques assez puissants pour actionner une sonnerie au poste récepteur.

M. *Perrodon* a imaginé pour le service militaire un avertisseur téléphonique très pratique dans lequel le courant d'une petite pile portative envoyé dans la ligne fait vibrer la plaque du téléphone du poste opposé sous laquelle un petit système analogue au trembleur des sonneries produit des courants interrompus.

M. *Trouvé* a modifié l'appareil en rendant le trembleur indépendant du téléphone et en le disposant dans le manche même.

MM. *Siemens* et *Ducretet* emploient comme avertisseur de leurs téléphones des systèmes à languette vibrante très peu différents de celui de M. Gower.

APPLICATIONS DU TÉLÉPHONE ET DU MICROPHONE A LA MÉDECINE ET AUX RECHERCHES SCIENTIFIQUES.

Un instrument d'une délicatesse aussi merveilleuse que le téléphone devait recevoir et a effectivement reçu plusieurs applications dans les études médicales et physiologiques.

Digitized by Google

Nous nous contenterons de signaler ici le microphone stéthoscopique de M. E. Ducretet et le microphone de M. Boudet de Paris.

Microphone stéthoscopique de M. E. Ducretet. — Cet appareil est le premier que nous ayons à signaler, car il est le premier en date. Dans la disposition adoptée par M. Ducretet,

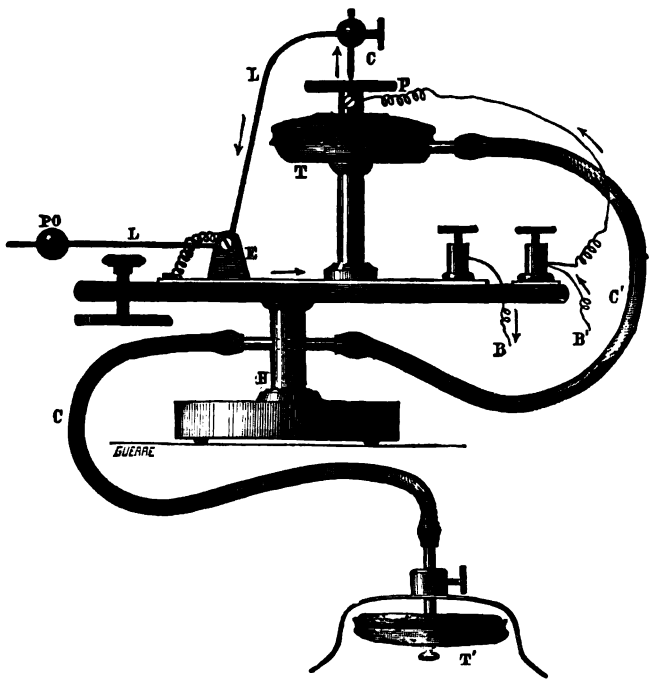


Fig. 120. — Microphone stéthoscopique de M. E. Ducretet.

le microphone permet d'entendre dans plusieurs téléphones à la fois les plus faibles pulsations : battements du cœur, du pouls, des artères. Cet appareil est délicat, sa sensibilité est très grande et c'est peut-être son défaut.

Deux tambours de M. Marey sont accouplés au microphone (fig. 120) ; l'un T′ sert d'*explorateur*, l'autre T de récepteur. Les plus faibles mouvements communiqués au tambour T agissent, par l'intermédiaire du tube de caoutchouc qui les réunit,

Digitized by Google

sur le tambour T et par suite sur le microphone. Ce microphone est relié à un levier L dont on peut régler la sensibilité par le contre-poids PO. Il est terminé par le crayon C de charbon de cornue ou de plombagine, lequel appuie sur une plaque de même substance fixée sur le tambour récepteur. Le tout forme un circuit complet dans lequel se trouvent une pile de un à trois éléments, Daniell ou Leclanché, et les téléphones dans lesquels on écoute les battements du tambour explorateur T'.

Ce microphone est susceptible de modifications; cette disposition permettra sans doute d'aller plus loin dans les investigations physiologiques. En substituant au tambour T un petit entonnoir, on peut transmettre la parole.

Microphone de M. Boudet de Paris appliqué à la médecine. — Une petite lame de caoutchouc durci de 5 sur 2 centimètres, très légèrement concave, et percée d'un orifice à son centre, sert de base à l'appareil (fig. 121). A l'une de ses extrémités s'élève une tige, haute de 3 centimètres environ ; sur cette tige monte et descend, au moyen d'une vis de réglage, un tout petit chariot de cuivre, entre les montants duquel oscille sur un axe transversal un cylindre de charbon D, long de 1 centimètre et demi et épais de 5 millimètres. Au-dessus de ce premier charbon vient aboutir l'extrémité libre d'une mince lame de ressort H, placée horizontalement et fixée par son autre bout à l'extrémité opposée de la planchette de caoutchouc. A ce ressort est adaptée une petite lentille de charbon, qui vient toucher l'extrémité du cylindre oscillant de charbon. Enfin, sous ce premier ressort et parallèlement à lui, comme dans le sphygmographe de M. Marey, se trouve un autre ressort terminé par un bouton explorateur, lequel traverse l'orifice de la planchette.

La moindre pression exercée sur ce bouton se transmet par l'intermédiaire des ressorts aux deux contacts de charbon, et fait ainsi varier l'intensité du courant qui les traverse. Ces variations sont recueillies par un téléphone que l'observateur applique à son oreille. La mobilité des deux charbons en contact fait comprendre l'extrême sensibilité de ce microphone. Toutefois, il

Digitized by Google

est nécessaire, dans ces expériences, d'obtenir un premier degré de pression initiale, que la vis de réglage peut déjà donner en partie, puisqu'elle permet d'appuyer plus ou moins le cylindre oscillant de charbon sur la lentille inférieure. Mais ceci n'est pas suffisant, car, si l'on explore un pouls un peu ample, les mouvements communiqués aux ressorts soulèveraient brusquement le charbon supérieur et détermineraient des ruptures du courant.

M. Boudet a obvié à cet inconvénient, en plaçant à l'intérieur

Fig. 121. — Microphone du docteur Boudet de Paris.

du petit chariot, au-dessus de l'une des extrémités du cylindre oscillant, un petit morceau de papier écolier I plié en forme de V et qui fait office de ressort. L'addition de ce ressort en papier présente plusieurs avantages ; le papier est un corps très faiblement et très parfaitement élastique, ainsi que l'ont prouvé les expériences de Savard ; par conséquent, il se prête beaucoup mieux que l'acier et le caoutchouc aux déplacements et aux rétablissements des contacts de charbons, ou plutôt aux variations de leur pression réciproque. Ainsi constitué, l'appareil, placé sur une artère, indique tous les bruits qui se passent à l'intérieur du vaisseau, et,

Digitized by Google

avec un peu d'habitude, on arrive très aisément à distinguer les différences du rythme, les bruits de souffle, etc. La pulsation est très fortement accentuée, le dicrotisme normal devient perceptible, en un mot *on entend le tracé du pouls*, tel qu'il est inscrit par le sphygmographe. Appliqué sur un muscle, le même instrument devient un excellent *myophone*. Il décèle le bruit du tonus musculaire normal et, lors de la contraction, on entend parfaitement le bruit de roulement caractéristique de ce phénomène.

La tonalité des sons transmis par ce microphone est conservée dans toute sa pureté. On peut facilement s'en convaincre en faisant vibrer successivement près de lui, ou même en contact avec sa planchette, des diapasons de tonalités différentes. Le téléphone répète alors fidèlement la note émise par chacun d'eux, et, ce qui est le plus curieux, on peut même distinguer les sons de deux diapasons différents, vibrant ensemble, sans que la tonalité de l'un ou de l'autre soit altérée.

MM. *Chardin et Prayer* ont construit aussi un explorateur micro-téléphonique destiné au sondage des plaies. Nous renvoyons nos lecteurs au n° 312 du journal *la Nature* (25 mai 1879) dans lequel cet appareil se trouve décrit.

Applications scientifiques du téléphone. — Nous ne pouvons décrire dans cet ouvrage toutes les applications scientifiques dont le téléphone et le microphone sont susceptibles, et les immenses services qu'ils ont déjà rendus. Citons entre mill la balance d'induction de M. Hughes auquel on doit l'invention du microphone. L'appareil a été décrit dans *la Nature* du 26 juillet 1879.

M. *Carlo Resio* a appliqué le téléphone à la mesure de la torsion de l'arbre des machines en mouvement et a imaginé une très intéressante méthode permettant de mesurer le travail dépensé ou produit par un équilibre téléphonique. On trouvera tous les détails de cette intéressante application dans *la Lumière électrique* du 15 mars 1880.

Le téléphone appliqué à l'indication de courants élec-

Digitized by Google

triques de très faible intensité. — Voici comment M. *d'Arsonval* décrit lui-même cette intéressante application :

«Le téléphone ne peut servir qu'à constater les variations d'un courant électrique, quelque faibles qu'elles soient, il est vrai, mais j'ai trouvé le moyen, par son intermédiaire, de constater la présence d'un courant continu, quelque faible qu'il puisse être. J'y ai réussi en employant un artifice très simple. Je lance dans le téléphone le courant supposé, et, pour obtenir des variations, j'interromps mécaniquement ce courant par un diapason. Si aucun courant ne traverse le téléphone, l'instrument reste muet. Si, au contraire, le plus faible courant existe, le téléphone vibre à l'unisson du diapason. »

Applications diverses. — Les applications que le téléphone a déjà reçues sont innombrables : plusieurs volumes comme celui-ci ne suffiraient pas à les décrire toutes. L'audiomètre ou sonomètre de M. Hughes, la balance d'induction, la mesure des résistances, les recherches sur les décharges électriques des piles de haute tension faites par M. Warren de la Rue, voilà pour les principales applications scientifiques du téléphone. Les communications téléphoniques dans les mines, les ateliers, les usines, la mesure de la torsion de l'arbre des machines en mouvement, l'analyse des métaux par la balance d'induction constituent les principales applications industrielles.

Chaque jour voit naître une nouvelle expérience, un nouveau problème dans lequel le téléphone apporte un moyen d'investigation, un concours précieux, quelquefois même une solution.

Dans d'autres cas, au contraire, son application fait naître des difficultés nouvelles ; les recherches faites pour s'en rendre maître profitent à la fois à la science et à ses applications. Nous en citerons un exemple.

Lorsqu'on a établi des réseaux téléphoniques dans les égouts, le rapprochement obligé des fils a été l'origine d'une difficulté sérieuse de nature à en compromettre le développement. Il s'agit de l'*induction* des fils les uns sur les autres, produisant un mé-

Digitized by Google

lange des conversations et une cacophonie qui rend les conversations très difficiles.

Si, d'autre part, les fils téléphoniques se trouvent à côté des fils télégraphiques et que les lignes soient très développées, l'émission des signaux successifs produit sur les fils des téléphones des bruits qui rappellent à s'y méprendre le crépitement de la *friture* — c'est le nom adopté.

Cet inconvénient est sur le point de disparaître dans la pratique. M. le docteur Cornelius Herz a imaginé, tout récemment, un système qui élimine tous ces bruits d'induction et ne laisse subsister que la parole transmise avec la même netteté et la même intensité que celles des transmissions dans les fils sans induction. M. Frank-Géraldy, qui a fait des expériences suivies avec les appareils de M. Herz, nous affirme que les résultats en sont très remarquables et fort importants au point de vue de l'avenir des applications du téléphone dans les villes et à grande distance.

On voit par cet exemple combien la pratique du téléphone — qui est une pratique récente puisqu'elle ne date que de trois années à peine, — a déjà soulevé de questions techniques et scientifiques du plus grand intérêt.

Le développement qu'a pris le téléphone depuis sa découverte est unique dans les annales de la science : il prouve combien va grandissant le rôle de la science dans les progrès de la civilisation, et la portée immense des travaux de son illustre inventeur, le professeur Graham Bell.

Digitized by Google

QUATRIÈME PARTIE

LA TÉLÉGRAPHIE MODERNE

Il faudrait consacrer un volume entier à l'examen sommaire des appareils qui ont permis de transmettre la pensée à distance par l'intermédiaire de l'électricité. Ces appareils sont d'ailleurs très connus pour la plupart, et leur étude n'offrirait ici qu'un médiocre intérêt. Nous nous proposons seulement de dire quelques mots des procédés de la télégraphie moderne qui, par suite du nombre sans cesse croissant des dépêches et du développement considérable du réseau télégraphique universel, a imposé d'une façon presque absolue l'emploi d'appareils rapides et de systèmes nouveaux pour satisfaire aux exigences du service. C'est dans cet ordre d'idées que nous dirons quelques mots des télégraphes rapides, de la télégraphie sous-marine, des télégraphes autographiques et de quelques autres appareils répondant à ces besoins nouveaux et quelquefois même devançant ces besoins.

LA TÉLÉGRAPHIE RAPIDE.

Le nombre toujours croissant des communications télégraphiques a imposé l'obligation de chercher à augmenter la rapidité des transmissions sur une ligne donnée, pour ne pas multiplier indéfiniment le nombre des fils qui, pour une grande distance,

Digitized by Google

représentent un capital engagé très considérable. Ces besoins ont été l'origine d'une branche nouvelle dans les procédés de la télégraphie.

La transmission électrique étant incomparablement plus rapide que la manipulation d'un appareil Morse par exemple, il s'agissait de mieux utiliser cette rapidité propre à la propagation du courant en multipliant dans un même temps les signaux envoyés sur la ligne. Trois classes d'appareils résolvent ce problème en apparence si complexe, nous en ferons connaître seulement les principes généraux :

a. Les télégraphes automatiques. — Les dépêches *composées à l'avance* défilent sur la ligne avec une rapidité que l'employé le plus agile et le plus exercé ne pourrait atteindre.

b. Les télégraphes multiples. — Plusieurs employés peuvent transmettre ou recevoir *à la fois*, un mécanisme spécial mettant la ligne successivement au service de chaque groupe pendant des intervalles de temps très courts et assez rapprochés, l'intervalle entre deux émissions successives étant utilisé pour *préparer* le signal.

c. Les télégraphes à transmissions simultanées qui permettent d'envoyer *en même temps*, par un seul et même fil, deux ou quatre dépêches.

Le *duplex* permet d'envoyer deux dépêches à la fois, une dans un sens, l'autre en sens contraire ; le *diplex*, deux dépêches à la fois dans le même sens ; et le *quadruplex*, quatre dépêches à la fois, deux dans un sens, et deux en sens contraire.

a. Les télégraphes automatiques.

Lorsqu'on emploie un télégraphe Morse, la vitesse de transmission est limitée par celle des mouvements de la main de l'employé manipulant la clef et celle de l'employé qui reçoit les messages. En remplaçant ce mouvement par une machine, cette vitesse pourra être beaucoup accrue. Les premières recherches dans cette voie ont été faites par *Bain*, en 1846, mais à cette

Digitized by Google

époque le besoin d'une transmission rapide ne se faisait pas encore sentir, et malgré les résultats très sérieux obtenus par l'inventeur, la question fut laissée de côté et reprise plus tard par *Wheatstone*, qui combina un appareil remarquable, très employé aujourd'hui en Angleterre et en France.

Télégraphe automatique de Wheatstone. — Voici le principe de l'appareil imaginé par cet illustre savant. La dépêche à envoyer est d'abord composée sur une bande de papier en perçant des trous convenablement distribués à l'aide d'un *perforateur* qui, au Post-Office de Londres, fonctionne par l'air comprimé.

La bande ainsi préparée est placée sur le transmetteur et entraînée par un mouvement d'horlogerie ; deux pointes frottent sur le papier ainsi entraîné et, lorsqu'elles rencontrent les trous du papier, elles ferment le circuit de la pile sur la ligne et y envoient, suivant les cas, un courant positif ou négatif. A l'autre bout de la ligne le *récepteur* ou imprimeur marque sur une bande de papier continu, et avec la rapidité suivant laquelle les courants se succèdent sur la ligne, les *points* et les *traits* correspondant aux trous produits par le perforateur. On conçoit que la vitesse donnée à la bande du perforateur puisse être considérable et que les courants se succèdent dans la ligne avec une très grande rapidité. En effet, l'appareil est réglé pour une vitesse maximum de 130 mots par minute, en pratique on en obtient 120 entre Londres et Manchester, 90 entre Londres et Sunderland et 60 entre Londres et Aberdeen.

Il faut six employés à chaque station pour desservir l'appareil, soit deux *pointeurs*, un expéditeur et trois transcripteurs par poste. Un seul fil débite donc le travail de *douze* employés. A cause de la double transcription que demande l'appareil, une fois sur la bande perforée, une fois en langage ordinaire, il ne peut être employé avantageusement que sur les longues lignes. Dans un cas spécial où sur cinq fils qui relient Birmingham à Londres quatre étaient hors de service, le cinquième fil fonctionnant avec le Wheatstone a suffi pour assurer le service entre les deux villes sans retards importants.

Digitized by Google

MM. *Digney*, *Little*, *Siemens*, *Allan*, *Renoir*, *Humaston*, *Mouilleron et Guérin*, etc., ont combiné des télégraphes automatiques analogues, au moins quant au but, à celui de Wheatstone; on en

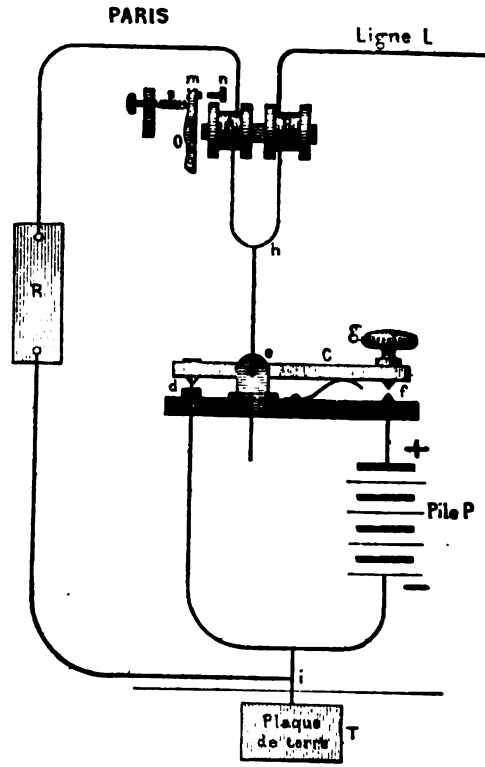


Fig. 122.

Figures schématiques, montrant deux postes télégraphiques montés en *duplex*.

P, pile; — C, manipulateur; — B, bobine de l'électro-aimant reliée à la ligne L; — A, bobine de l'électro-aimant reliée à la boite de résistance R qui sert à égaliser les résistances des deux circuits bifurqués en *h*.

trouvera la description complète dans l'*Exposé des applications de l'électricité* de M. le comte du Moncel.

b. Les télégraphes multiples.

Un employé manipulant le Morse peut transmettre 40 lettres par minute avec une moyenne de quatre signaux par lettre, ce

Digitized by Google

qui fait un peu moins de trois signaux par seconde. Le télégraphe autographique de Wheatstone en transmet plus de *cent* par seconde. Il y a donc là une marge qui a tenté bien des inventeurs

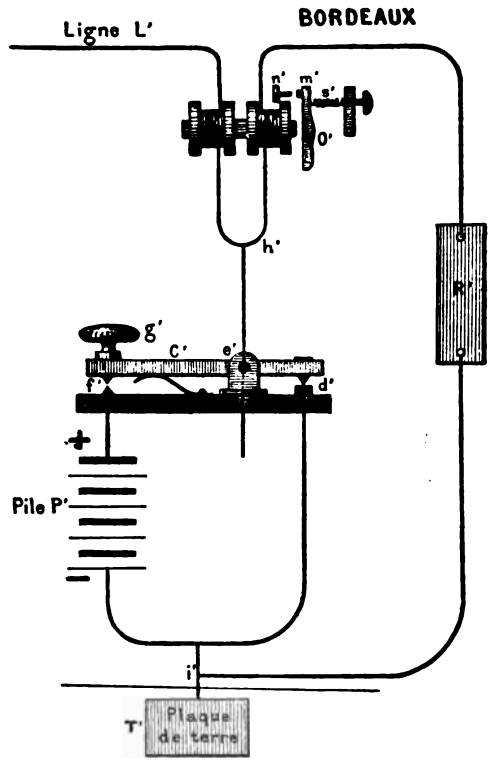


Fig. 12 .

Figures schématiques, montrant deux postes télégraphiques montés en *duplex*.

O, armature; — *s*, ressort antagoniste; — *m*, bouton qui, en venant toucher le butoir *n* lorsque l'armature O est attirée, fait fonctionner l'appareil Morse du poste, en fermant sur lui le circuit d'une pile locale.

Télégraphe multiple de M. Meyer. — Laissons M. Bontemps développer l'idée de M. Meyer :

« S'il était possible d'installer sur un même fil quatre appareils doubles distincts, c'est-à-dire composés chacun d'un manipulateur et d'un récepteur, de telle sorte que chaque manipulateur travaillât indépendamment de son voisin et à un autre moment de la durée que lui, le fil pourrait faire l'office d'un collecteur

Digitized by Google

ramassant successivement ces diverses transmissions. Qu'à l'arrivée, par un jeu de mouvements synchrones, sorte de représentation de l'harmonie préétablie, les quatre récepteurs recueillent à tour de rôle les transmissions des manipulateurs qui leur correspondent, on n'aura pas, en apparence, changé les conditions du mode de travail qui caractérise le système Morse, et cependant on aura obtenu un rendement quadruple.

« En effet, on ne demandera à la manipulation qui est l'œuvre de l'employé que le degré d'effort qui correspond à son activité, et qui représente, dans un service continu, la moyenne de vingt dépêches à l'heure. Le gain sera pris sur la capacité en quelque sorte inépuisable du fil pour débiter des signaux. »

L'appareil qui réalise cette idée se compose d'un distributeur qui, pendant quatre intervalles de temps égaux, dirige le courant de la pile successivement sur chacun des quatre récepteurs du poste expéditeur.

Chaque groupe composé d'un manipulateur et d'un récepteur est donc maître absolu de la ligne pendant un intervalle de temps, et il a la valeur de trois intervalles égaux au premier pour *préparer* la lettre suivante.

L'appareil très ingénieux de M. Meyer transmet les dépêches en caractères Morse, on en trouvera tous les détails dans l'ouvrage de M. du Moncel. M. Meyer avait été précédé dans cette voie de recherches par M. *Rouvier* qui a décrit dans les *Annales télégraphiques* de 1860 un système fondé aussi sur la répartition de la ligne avec les différents postes successivement, mais le changement, au lieu de se faire après l'émission des signaux correspondant à une lettre complète, se faisait après l'émission de chaque signal.

Dans une autre série d'appareils, on a voulu utiliser les temps perdus dans les transmissions par le télégraphe imprimeur de Hughes, de telle sorte que plusieurs appareils montés sur la roue des types et actionnés par des employés formant des groupes séparés pussent transmettre chacun une lettre par tour, soit deux lettres par seconde, pour cinq postes dix lettres ou six cents

Digitized by Google

lettres par minute, c'est-à-dire près de *trois cents* dépêches de vingt mots à l'heure transmises par un seul fil.

Les systèmes de MM. *Mimault*, *Schœfler* et *Baudot*, réalisent aujourd'hui parfaitement ces conditions.

Le système de M. *Baudot* est actuellement dans la pratique courante et a valu à son ingénieux inventeur un grand prix à l'Exposition universelle de 1878 et la croix de la Légion d'honneur.

Nous renvoyons le lecteur curieux d'en connaître les principes, d'une explication longue et pénible, à la description que M. du Moncel en a donnée dans *la Lumière électrique* du 15 février 1880.

Tous les appareils de cette classe se distinguent par un caractère commun, ils sont fondés sur le *synchronisme* de deux systèmes tournant au poste expéditeur et au poste récepteur avec la même vitesse, quel que soit d'ailleurs le mode de reproduction des signaux, alphabet Morse ou ordinaire.

c. Les télégraphes à transmissions simultanées.

L'annonce de la découverte de la transmission de deux dépêches *à la fois*, *en sens inverse*, *par un seul et même fil*, a été accueillie avec une grande incrédulité par le public et le monde savant lorsqu'elle fut faite pour la première fois par *Gintl* en 1853.

La première expérience eut lieu sur la ligne de Vienne à Prague. L'appareil, vrai dans son principe, mais imparfait dans son fonctionnement et dans certains détails auxquels il fallait porter remède, ne passa pas dans la pratique : ajoutons aussi qu'à cette époque le besoin d'un système rapide ne se faisait pas autrement sentir, les appareils ordinaires satisfaisant parfaitement aux exigences du service. Ce n'est qu'après une foule de perfectionnements, de recherches auxquelles le besoin venait d'ailleurs donner une actualité de plus en plus grande, que le système fut essayé et employé sur une grande échelle en Amérique par M. *Stearns* qui a contribué pour une large part à son développement et à ses progrès.

Nous nous proposons ici de faire connaître seulement les *prin-*

Digitized by Google

cipes de ces appareils curieux et intéressants qui ne sont entrés véritablement dans la pratique que depuis 1870, mais dont le développement a été si rapide pendant ces dernières années.

Duplex différentiel. — Il existe actuellement un grand nombre de systèmes de télégraphes *duplex*, et nous croyons sans peine M. Preece lorsqu'il affirme qu'on en pourrait inventer un chaque semaine. Ne pouvant les décrire tous, nous avons pris pour exemple le plus simple, celui appliqué au système Morse et qui a été combiné en 1854 par Carl Frischen, inspecteur des télégraphes du Hanovre.

Les figures 122 et 123 représentent la disposition schématique de deux postes montés en duplex, et que nous supposons être Paris et Bordeaux. Les deux postes sont absolument symétriques et se composent :

1° D'une pile P reliée à la terre par son pôle négatif et par son pôle positif à l'enclume *f* d'une clef de Morse ;

2° D'une clef de Morse ou *manipulateur* qui sert à envoyer des courants interrompus, de faible durée pour les points, de durée plus longue pour les traits, et qui, par leur combinaison, constituent l'alphabet de Morse ;

3° D'un électro-aimant AB, représenté droit pour faciliter l'explication, mais qui, en pratique, est en fer à cheval, sur lequel sont roulées deux bobines AB, de même longueur et de même diamètre de fil. L'enroulement de ces bobines est tel que, lorsqu'elles sont traversées par des courants *égaux*, l'aimantation que ces courants tendent à communiquer à eur noyau de fer doux est *inverse*, et par suite le fer doux ne prend aucune aimantation ;

4° D'une armature O placée en face de l'électro-aimant AB qui est attirée lorsque cet électro-aimant devient actif ; le bouton *m* vient alors toucher le bouton *n* et ce contact vient fermer le courant d'une pile locale, sur un appareil Morse ordinaire. L'ensemble de l'électro-aimant A, B, du levier O et des boutons *m* et *n*, constitue donc un *relais*, relais qui suit tous les mouvements du manipulateur de la station opposée ;

5° D'une boîte de résistance R placée dans le circuit de la bo-

Digitized by Google

bine A, et qui a pour but d'introduire dans le circuit de cette bobine une *résistance électrique* égale à celle de la ligne L augmentée de la résistance de la bobine B'.

Lorsque cette condition est parfaitement remplie, les courants qui traversent les bobines A et B sont parfaitement égaux et obéissent à la loi des courants dérivés : lorsque plusieurs circuits sont montés en dérivation sur une même source électrique, l'intensité du courant, sur chacun de ces circuits, est inversement proportionnelle à la résistance de ce circuit.

Le but de cette disposition est de rendre chaque récepteur inerte aux courants qu'il envoie, et de le rendre actif chaque fois que le poste opposé lui envoie un courant.

Pour nous rendre compte que ce but est atteint, il nous suffit d'examiner tous les cas qui peuvent se présenter. Ces cas sont au nombre de trois :

Premier cas. — *Le poste Paris envoie seul un courant.* — Pour cela il appuie sur la clef en *g*, le courant de la pile P passe par *f*, *e*, *h*, arrivé en *h* il se bifurque : une partie traverse la bobine B, la ligne L, arrive en L' à Bordeaux, où nous allons le voir agir tout à l'heure ; une seconde partie du courant traverse la bobine A, la boîte de résistance R et va à la terre. Mais ces deux courants sont *égaux*, puisqu'ils traversent des résistances égales ; le courant émis par la pile s'est donc divisé en deux moitiés qui sont sans influence sur le poste Paris, puisque leurs actions s'équilibrent. La seconde moitié du courant arrivant à Bordeaux par L' traverse la bobine B', *aimante* le noyau de fer doux qui attire l'armature O. Après avoir traversé la bobine B', ce courant va à la terre par *k' e' d' i'* T'. On a donc obtenu une action sur le poste Bordeaux sans agir sur le poste Paris.

Deuxième cas. — *Le poste Bordeaux envoie seul un courant.* — Ce que nous venons de voir pour le poste Paris se reproduit exactement en sens inverse, l'armature O' de Bordeaux reste alors immobile et c'est l'armature O de Paris qui agit à chaque émission de courant.

Troisième cas. — *Les deux postes Paris et Bordeaux envoient un*

Digitized by Google

courant en même temps. — Dans ce cas, les courants envoyés par chaque poste se bifurquent comme dans le premier cas, mais les courants qui tendent à traverser les bobines B et B′ et la ligne L L′ étant égaux et de sens contraire, détruisent leur action. Il en résulte que les bobines B et B′ ne sont traversées par aucun courant, mais les bobines A et A′ agissent, aimantent leurs noyaux respectifs et les deux armatures O et O′ sont attirées.

C'est donc par un équilibre bien combiné des aimantations que ces appareils fonctionnent, ce qui justifie le nom de *système différentiel* donné à cette combinaison. Le rôle des boîtes de résistance est de permettre de bien équilibrer les courants qui traversent les bobines en introduisant ou en enlevant du circuit un certain nombre de bobines de résistance, suivant que le courant qui les traverse est trop fort ou trop faible. Cela est d'autant plus nécessaire que la résistance des lignes variant avec la température, l'humidité, l'entretien, etc., on doit pouvoir *ajuster* ces résistances à celles de la ligne chaque fois que l'équilibre est rompu, ce qui constitue une certaine difficulté pour les lignes un peu longues, difficulté vaincue dans des systèmes spéciaux plus compliqués.

Pour les longues lignes, on a eu à combattre d'autres causes de perturbation, telles que celles dues à la capacité électro-statique des lignes terrestres, mais l'examen de ces questions de technique pure sortirait de notre cadre.

Duplex à pont de Wheatstone. — Le système duplex que nous venons d'examiner est fondé sur l'action d'un courant traversant en sens inverse les deux bobines d'un électro-aimant et les rendant par ce fait inactives. Il en résulte qu'il ne peut fonctionner qu'avec des récepteurs fondés sur l'action d'un électro-aimant. Dans le système à pont de Wheatstone, on met en jeu non plus un équilibre d'action sur un électro-aimant, mais un équilibre de courant. Lorsque le poste A envoie un courant sur la ligne, le circuit de son récepteur est disposé de telle sorte qu'il n'est traversé par aucun courant.

Digitized by Google

Il résulte de cette différence, peu importante en apparence, que le duplex à pont de Wheatstone est susceptible d'une application beaucoup plus générale, car la nature du récepteur est indifférente. On peut employer un récepteur chimique, un appareil imprimeur de Hughes ou un Morse ordinaire.

Quelquefois même, les deux appareils travaillant sur la même ligne ne sont pas symétriques : tandis que le poste A envoie une dépêche au poste B en *signaux Morse*, le poste B en envoie une en même temps au poste A en *caractères ordinaires*.

Systèmes diplex et quadruplex. — On désigne sous le nom de *diplex* en Angleterre et en Amérique les appareils qui permettent l'envoi de deux dépêches simultanées *dans un même sens* par un seul et même fil.

Combinons le duplex et le diplex, nous pourrons envoyer quatre dépêches à la fois par un seul et même fil, deux dans un sens, deux dans un autre. L'appareil le plus remarquable de cette nature a été imaginé par Edison. Il va sans dire que ces résultats ne s'obtiennent pas sans une combinaison fort complexe de relais, de rhéostats, de clefs, etc. Disons seulement qu'on met à contribution des courants de sens inverses et des courants de puissances différentes qui agissent sur un récepteur sans influencer l'autre. Tous ces systèmes ont été complètement décrits dans l'ouvrage de M. *G. Prescott : Electricity and the electric telegraph.*

Nous ferons remarquer au sujet du télégraphe duplex qu'une ligne *travaillant* par ce système, suivant l'expression consacrée, peut plus que doubler son débit, car elle permet d'éviter les pertes de temps causées par les interruptions, les demandes de répétitions, d'ordres de service, etc. Cet avantage est particulièrement apprécié sur les lignes sous-marines où chaque minute perdue représente une somme relativement importante.

Aujourd'hui l'on augmente encore la rapidité de transmission en combinant l'appareil automatique de Wheatstone avec le système duplex. La transmission atteint alors les vitesses fantastiques de cent mots par minute dans chaque direction, si la ligne n'est pas trop longue, deux cents mots pour les deux postes,

Digitized by Google

douze mille mots par heure, soit, en tenant compte des arrêts et des interruptions, une transmission pratique de *quatre cents* dépêches de vingt mots en soixante minutes.

Nous voilà bien loin de la vitesse de transmission ordinaire par la clef de Morse, avec laquelle un employé habile peut transmettre à peine vingt-cinq dépêches à l'heure.

Il y a actuellement en Amérique plus de quatre-vingts quadruplex en activité de service et un nombre de duplex proportionné. En Angleterre, le système automatique Wheatstone suffit aux besoins, il y a cependant six quadruplex au Post-Office.

En France on n'emploie pas encore les appareils à transmissions simultanées, mais on se sert dans une assez grande mesure des appareils Wheatstone, Meyer et Baudot.

Ce dernier, considérablement perfectionné par son inventeur, tend à devenir d'un emploi assez général sur les lignes chargées, car, à sa grande rapidité, il joint l'avantage de fournir les dépêches imprimées en caractères ordinaires, ce qui évite les ennuis et les erreurs de la transcription.

LES TÉLÉGRAPHES IMPRIMEURS.

Tout le monde connaît le magnifique appareil imaginé par un Américain. M. *Hughes :* les détails de sa construction et de son fonctionnement sont aujourd'hui classiques, nous ne ferons que le signaler ici. Il permet d'envoyer 60 dépêches de 20 mots par heure sur des circuits dont la longueur dépasse souvent 800 kilomètres : malgré la complication du mécanisme qui demande des employés habiles, il est très employé en France à cause de cette rapidité et de la nature même des dépêches sortant du récepteur en caractères ordinaires.

En Amérique on emploie concurremment avec lui le télégraphe de M. *Phelps* qui, comme celui de M. Hughes, est fondé sur le synchronisme de deux appareils placés aux postes expéditeur et récepteur.

Digitized by Google

On a essayé plusieurs fois d'établir des modèles de télégraphe imprimeur sans synchronisme et manœuvrés par un manipulateur à cadran pour remplacer les *télégraphes alphabétiques* des chemins de fer par des appareils imprimeurs.

Toutes ces tentatives, qui ont donné lieu à une série d'appareils très ingénieux, n'ont pas encore été sanctionnées par la pratique, à cause de leur complication et de leur délicatesse qui ne permettaient pas de les placer entre les mains de personnes peu exercées et souvent maladroites. Il y a là une lacune qui, nous l'espérons du moins, sera prochainement comblée.

LES TÉLÉGRAPHES AUTOGRAPHIQUES.

Si nous voulions donner un exemple frappant d'une invention venue trop tôt, nous ne saurions mieux choisir pour exemple que les télégraphes autographiques, qui permettent de reproduire à distance une ligne, un contour, l'écriture, un dessin, etc. La dépêche *écrite* n'est pas encore passée dans nos mœurs, et on ne peut prévoir l'époque à laquelle elle répondra à un véritable besoin de notre civilisation.

Le premier appareil autographique conçu par *Wheatstone*, exécuté par *Backwell*, a figuré pour la première fois à l'exposition universelle de 1851 ; les premières dépêches autographiques de l'abbé *Caselli* datent de 1855, et les premières expériences en ligne de 1862.

On trouvera tous les détails de l'appareil remarquable de M. Caselli dans la *Physique* de M. Ganot (12e édition). Il a permis de transmettre jusqu'à 40 dépêches à l'heure entre Paris et Lyon, tandis que le Hughes en transmet 60 et le Hughes duplexé 120. Il n'était donc pas assez rapide, très compliqué et ne répondait pas assez aux besoins, son emploi ne fut pas maintenu. Il obligeait l'expéditeur à aller au bureau transcrire sa dépêche lui-même sur une feuille de zinc avec une encre grasse spéciale.

Digitized by Google

Il présente l'avantage de donner une sécurité complète pour les transactions commerciales et financières, et d'être le seul appareil qui puisse réaliser l'application de la télégraphie en Chine et dans tous les pays où l'écriture n'est pas alphabétique.

M. *d'Arlincourt* a combiné aussi un télégraphe autographique qui a fonctionné, en 1872, entre Paris et Marseille, dont on trouvera la description complète dans l'*Exposé des applications de l'électricité* de M. du Moncel.

Signalons encore dans le même ordre d'idées les appareils ingénieux de MM. *Lenoir* et *Meyer*, sujets aux mêmes objections et présentant les mêmes avantages que le télégraphe de M. Caselli.

Plume télégraphique de M. Cowper. — La plupart des télégraphes autographiques sont fondés sur des actions synchro-

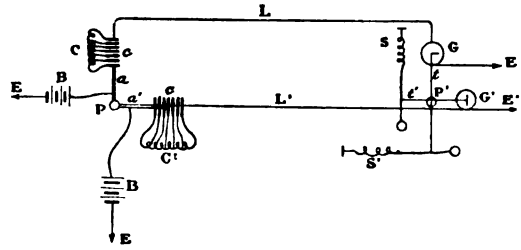


Fig. 124. — Diagramme de principe du télégraphe écrivant de M. Cowper.

niques; on a essayé une autre série d'appareils fondés sur un principe tout différent, qu'on peut désigner sous le nom de systèmes pantographiques. On sait que la position d'un point sur une courbe plane est déterminée par la distance de ce point à deux axes rectangulaires. C'est par un procédé semblable que la position de la pointe du style qui forme la lettre est déterminée par la distance à deux lignes fixes formant deux des bords adjacents de la feuille de papier. Le télégraphe transmet ces distances et les recombine à l'arrivée, de façon à donner au second style un mouvement de résultante qui reproduit l'écriture originale.

M. Cowper emploie deux circuits distincts, c'est-à-dire deux fils de ligne. En outre, chaque appareil de départ et d'arrivée, manipulateur et récepteur, est double. L'un des systèmes trans-

Digitized by Google

met la composante de bas en haut, et simultanément l'autre circuit transmet la composante latérale. A l'arrivée, les deux composantes sont transformées par une disposition de pantographe. Pour transmettre chaque composante continuellement variable, M. Cowper modifie graduellement la résistance du circuit.

Nous indiquons dans la figure 124 la disposition schématique qui assure ce résultat.

P est le style que conduit la main de l'écrivain ; celui-ci forme les caractères sur un papier qui avance uniformément sous l'influence d'un mouvement d'horlogerie.

A la plume P sont fixés, à angle droit, deux bras *a*, *a'* correspondant chacun à l'un des circuits.

Nous considérerons, par exemple, celui qui sert à la transmission des mouvements verticaux accomplis par le bras *a*.

Un des pôles de la pile de transmission B est relié au bras *a*, l'autre est réuni à la terre.

Le bras *a* est pourvu, à son extrémité libre, d'un contact glissant ; lorsque le style P écrit, le bras *a* glisse longitudinalement sur une série de plaques métalliques qui sont isolées les unes des autres par du papier parafiné. Entre chaque paire de plaques on a intercalé une bobine de résistance C; la dernière plaque est reliée à la ligne.

Lorsque *a* glisse sur les plaques de bas en haut, le circuit est diminué d'un nombre de bobines proportionnel à l'avancement du bras. La diminution de résistance correspond à une augmentation du courant transmis. Si l'excursion est longue, le courant transmis est fort; il sera faible, au contraire, pour un court déplacement.

Le mouvement latéral du crayon sur la seconde ligne L' est reproduit par un arrangement identique.

Voyons maintenant ce qui se passe à la station d'arrivée.

Le courant qui vient de la ligne L traverse un galvanomètre G et de là va à la terre. Ce galvanomètre se compose d'une forte aiguille dont un des bouts est relié au style récepteur P' par un

Digitized by Google

levier *t* tendu au moyen du ressort S. Le courant de la seconde ligne L′ arrive par un galvanomètre semblable G′, puis se rend à la terre.

L'aiguille de G′ est également reliée à la plume P′ par un levier *t′* tendu au moyen du ressort S′. L'aiguille de chaque gal-

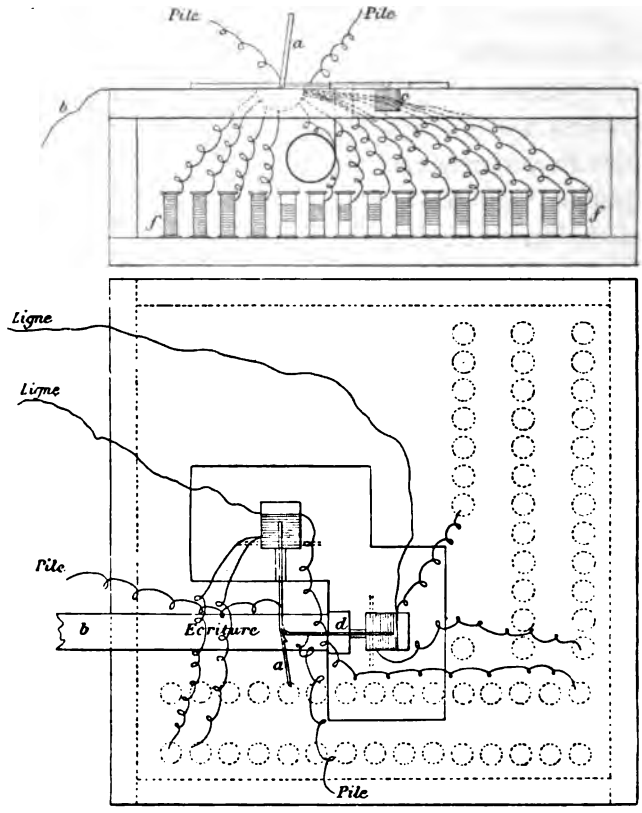


Fig. 125. — Transmetteur du télégraphe Cowper.

vanomètre déviant plus ou moins suivant l'intensité du courant, le style récepteur est ainsi guidé de façon à reproduire fidèlement tous les mouvements du style de départ.

La plume de réception est constituée par un siphon de verre délié qui puise de l'encre d'aniline dans un petit récipient égale-

Digitized by Google

ment en verre. Chaque circuit contient 32 bobines C, et un nombre égal de plaques de contact *c*. Il suffit de quelques éléments Daniell pour actionner l'appareil ; on a déjà réussi sur une ligne de 40 milles de longueur. La dimension de l'écriture originale peut être amplifiée ou diminuée à la réception ; c'est la propriété du pantographe. Il nous reste à expliquer l'appareil réel. Les figures 125 et 126 le représentent.

La figure 125 est une vue du manipulateur. On y reconnaît en *a* le crayon, en *b* le papier et les leviers du pantographe *d* (marqués *a* dans la fig. 124). On y voit que chaque bras *d* est relié à une pile spéciale : on retrouve dans l'élévation le crayon *a*, en *c* sont les plaques de contact sur lesquelles glissent les bras *dd*, *ff* sont les bobines et *b* le papier qui se déroule.

La figure 126 représente l'appareil récepteur dans lequel *hh* sont les aiguilles légères qui pivotent ; elles sont entourées de bobines de fils fins isolés *ii;* elles sont maintenues dans la position zéro par les électro-aimants *jjjj* placés au-dessous. L'ensemble forme une paire de galvanoscopes ou révélateurs de courants, un pour chaque ligne.

Les électro-aimants sont animés par une pile locale (on a trouvé avantage aussi à les remplacer par des aimants permanents). La plume *k* est reliée à la pointe la plus rapprochée à l'aiguille *h* de chaque galvanoscope par des cordons *nn* qui sont maintenus par des fils $o_1 o_2 o_3$, des ressorts *o* et des pointes o_4.

Dans l'élévation du récepteur, on voit en *ii* les bobines, en *jjjj* les électro-aimants régulateurs, en *c* le siphon écrivant qui plonge avec son petit bras dans l'encrier *m; l* est le pont auquel le siphon est suspendu au moyen d'un cordon et d'un ressort. Le bras prolongé du siphon descend jusqu'à la surface du papier *p;* lorsque le siphon est au repos, la pointe marque une ligne continue au milieu du papier ; mais dès que le récepteur fonctionne, la pointe forme chaque lettre de la dépêche, à mesure que le papier se déroule.

La plume télégraphique de M. Cowper est un appareil des plus curieux, mais il est malheureusement fondé sur des élé-

Digitized by Google

ments par trop variables, tels que la résistance de la ligne par exemple ; il n'est pas passé dans la pratique.

M. *Marcel Deprez* a imaginé un appareil pantographique à

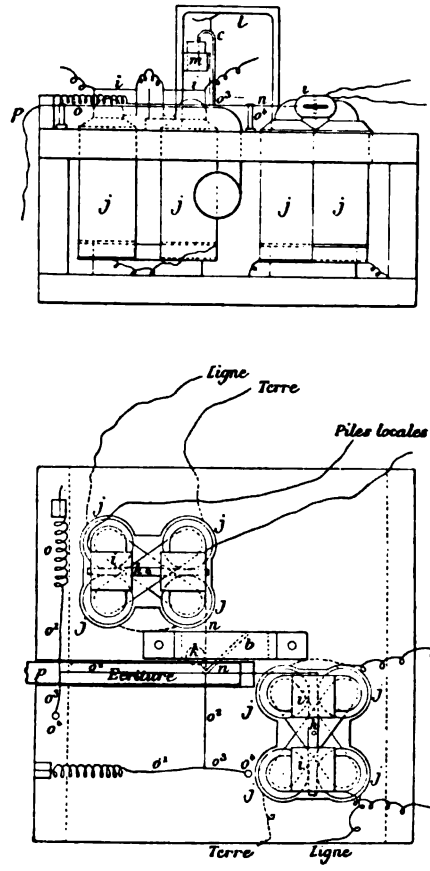


Fig. 126. — Récepteur du télégraphe Cowper.

deux fils dans lesquels la transmission s'effectue par des émissions successives de courants renversés.

Signalons une particularité intéressante de cet appareil, qui permet de reproduire *une page entière* sans déplacer la feuille de papier. C'est en quelque sorte la réalisation pratique et électrique du fameux *Mané*, *Thécel*, *Pharès* de la légende.

Digitized by Google

LA TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE.

Comme le dit très justement M. Ch. Bontemps, la plus brillante conquête du télégraphe électrique est l'empire de la mer. Mais, avant que le succès couronne l'œuvre, quels moyens gigantesques employés, quelle persévérance et quelle ténacité n'a-t-il pas fallu déployer pour vaincre les difficultés que présente la pose d'un fil long de 4,000 kilomètres sans aucun accident de nature à compromettre son fonctionnement? Depuis le premier câble immergé en 1850 par M. *Brett* entre Douvres et la côte française, la pose des câbles a reçu d'importantes modifications et leur fabrication de grands perfectionnements qui ont été décrits avec beaucoup de détails dans *la Nature* de 1874.

Le problème présentait deux ordres de difficultés bien distincts: la fabrication des câbles et les procédés de transmission. Le détail des opérations intéressantes de la fabrication sortirait de notre cadre. Nous voulons seulement montrer les difficultés de la transmission télégraphique par câbles et indiquer par quels procédés ingénieux on est parvenu à s'en rendre maître dans une certaine mesure.

Lorsqu'on met un câble électrique en communication avec une pile, le courant qui le traverse ne prend pas instantanément l'intensité qui correspond à la puissance de la pile et à la résistance totale du circuit. Nous nous contenterons de signaler la cause de ce fait, qui est dû à la capacité *électro-statique* du câble, capacité qui est fonction de sa longueur, de sa forme, de sa grosseur et de la nature des matériaux qui le composent.

Un exemple numérique fera bien voir avec quel retard se propage le courant dans une ligne sous-marine, celle qui relie l'Angleterre à Terre-Neuve, par exemple.

Lorsqu'on envoie un courant dans ce câble, deux dixièmes de seconde après l'instant précis du contact, aucun appareil, même le plus délicat, ne peut, à Terre-Neuve, être influencé par ce courant. Quatre dixièmes de seconde après l'émission, le courant

Digitized by Google

atteint les sept centièmes de l'intensité maxima qui lui correspond; en une seconde, il atteindra environ 50 pour 100 et mettra *plus de trois secondes* à obtenir son intensité normale.

Sur le câble français, dont la capacité et la longueur sont plus grandes, il faudra *huit secondes* pour que le courant atteigne ce maximum. Dans ces conditions, pour transmettre un mot par traits et points au moyen d'un appareil Morse, il faudrait *deux minutes;* la transmission se réduirait à 30 mots par heure, ce qui obligerait à mettre les dépêches à un prix inabordable, eu égard au capital engagé, à l'amortissement, etc., etc. Il en résulte que les émissions de courant doivent se succéder plus vite et que, par suite, le courant n'a pas le temps de prendre son intensité normale au bout de la ligne. Actuellement, on peut télégraphier par un câble 15 à 17 mots par minute, la durée du courant correspondant à un point ne dépasse pas vingt-sept centièmes de seconde, et l'intensité au bout du câble, après ce temps, est souvent moindre que $\frac{1}{1000}$ de celle que prendrait le courant permanent, une fois le régime établi. D'autre part, les courants successifs envoyés sur la ligne réagissent les uns sur les autres; ils se superposent comme le feraient des ondes liquides, de telle sorte que l'intensité correspondant à un signal donné dépend souvent des 20 ou 30 émissions de courant précédentes. Une émission *régulière* de courants faite par le poste expéditeur se traduit au poste récepteur par une série *irrégulière* de signaux.

Il est impossible à un appareil Morse de fonctionner dans ces conditions, et il en est de même pour tout appareil dans lequel il faut une intensité donnée pour mouvoir une palette ou une armature.

Galvanomètre à miroir de sir William Thomson. — C'est le premier appareil qui ait permis d'atteindre des vitesses de 14 à 17 mots par minute dans les transmissions par câbles de grande longueur. Il se compose (fig. 127) d'une petite aiguille formée d'un petit ressort de montre de 8 à 9 millimètres de longueur suspendu à un fil de cocon de soie sans torsion et sup-

Digitized by Google

portant un miroir convexe de verre argenté. L'aiguille et le miroir pèsent en tout moins d'un décigramme.

Cet ensemble est suspendu au centre d'une bobine de fil très fin ayant une résistance d'au moins 2,000 ohms; le petit barreau est dirigé par un aimant NS placé à la partie supérieure de telle sorte que le rayon lumineux envoyé par une lampe F et tombant sur le miroir soit réfléchi sur une échelle graduée MM. Par cette disposition, les déplacements du miroir, si faibles qu'ils soient, sont largement indiqués sur l'échelle. Le poste expéditeur envoie dans la ligne, par un artifice que nous signalerons à propos du syphon-recorder, des courants *instantanés* tantôt dans

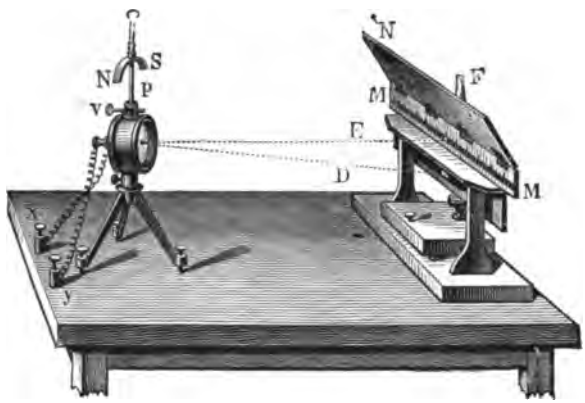


Fig. 127. — Galvanomètre à miroir de sir W. Thomson.

un sens, tantôt dans un autre : le rayon lumineux projeté sur l'échelle se déplace sous l'impulsion de ces courants traversant la bobine. L'attention qu'il faut apporter pour suivre, dans une chambre obscure, les déviations du rayon lumineux cause une fatigue réelle aux employés, et la durée du service continu ne peut pas dépasser une heure.

Syphon-recorder de sir William Thomson. — C'est pour obvier à ces inconvénients que l'illustre savant anglais a combiné un appareil qui évite cette fatigue aux employés tout en maintenant la même vitesse de transmission.

Le *syphon-recorder* de sir W. Thomson trace sur une bande

Digitized by Google

de papier qui se déroule une courbe continue qui n'est autre chose que la représentation matérielle de tous les mouvements de l'appareil sous l'influence des courants envoyés par le poste expéditeur, cette courbe représentant à chaque instant l'intensité du courant qui traverse l'appareil au poste récepteur. L'employé n'a donc qu'à *lire* les signaux et à les transcrire, non plus à l'*instant même* où ils se produisent, mais à tête reposée, en caractères

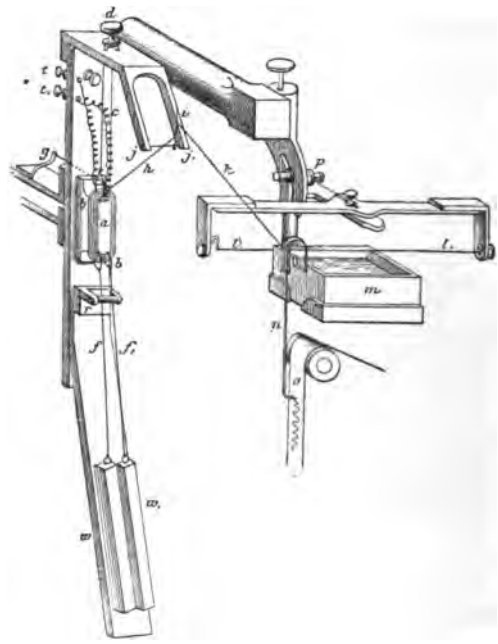


Fig. 128. — Syphon-recorder de sir W. Thomson.

conventionnels dont il possède bien vite la clef. La courbe continue est tracée sur la bande *o* (fig. 128) par l'extrémité d'un tube de verre extrêmement fin *n*, rempli d'encre d'aniline puisée dans un réservoir *m*. Ce tube est déplacé à l'aide des fils *k* et *k* et du levier *i* par une bobine très légère *bb* placée entre les deux pôles d'un électro-aimant puissant non représenté figure 128. Un noyau fixe de fer doux *a* est placé à l'intérieur de la bobine *bb* suspendue en *d* par les fils *c* et dirigée par les deux fils *f*, *f'*, qui suppor-

Digitized by Google

tent les poids *w*, *w*. La bobine se meut en tournant autour d'un axe vertical dans le champ magnétique de l'électro-aimant suivant le sens du courant qui la traverse. Les fils *h* et *k* sont maintenus tendus par le ressort *g;* le tube cracheur d'encre repose sur un fil *l l*, à l'aide d'une petite gouttière en papier collée contre ce fil. Avec cette disposition, les masses en mouvement étant très faibles, il n'y a presque pas d'inertie à vaincre, ce qui donne au système une très grande sensibilité. L'électro-aimant entre les pôles duquel se trouve la bobine *bb* est alimenté par une pile spéciale placée au poste récepteur. Cette pile, combinée pour cet usage par sir W. Thomson, n'est autre chose qu'une pile Daniell à grande surface, donnant par suite beaucoup de *quantité*. Elle

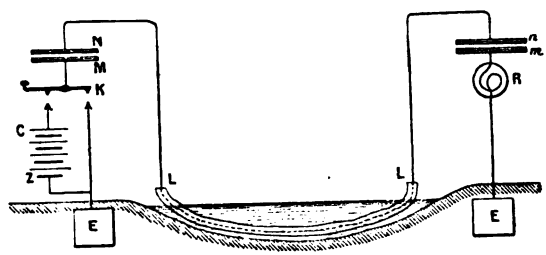


Fig. 129. — Disposition d'une communication télégraphique sous-marine avec les condensateurs et le syphon-recorder.

sert aussi à mettre en mouvement un petit moteur électrique placé au-dessus du syphon-recorder, dont la fonction est double. Ce moteur sert au déroulement uniforme de la bande de papier *o* et sert aussi à électriser l'encre contenue dans le siphon *m*. Pour cela, il met en mouvement une machine de Holz en miniature, et le flux d'électricité produit par cette machine ne trouvant d'autre écoulement à la terre que le tube *n*, provoque un transport et un écoulement de l'encre du réservoir *m* à travers le tube. Il n'est donc pas nécessaire que l'extrémité du tube touche la bande *a;* elle en est éloignée de quelques millimètres et est *projetée* sur le papier en gouttes fines et nombreuses qui forment un trait continu ; la largeur de la bande de papier ne dépasse pas 18 millimètres. La figure 129 représente la disposition employée dans les

Digitized by Google

transmissions sous-marines avec le siphon-recorder. On voit que le courant de la pile n'est pas envoyé directement dans la ligne. L'idée d'interposer les condensateurs est due à M. Varley ; ces condensateurs se composent d'un grand nombre de feuilles d'étain superposées séparées par du mica ou de la paraffine et reliées entre elles comme les condensateurs des bobines Ruhmkorff. La ligne L est attachée aux armatures isolées N et *n* de deux grands condensateurs. Au poste expéditeur, la seconde armature est attachée à une clef K qui permet de la faire communiquer avec la pile C Z ou avec la terre E ; au poste récepteur, la seconde armature du condensateur est reliée à la terre par l'intermédiaire de la bobine R du syphon-recorder.

En appuyant sur la clef K, M est relié au pôle positif, N de-

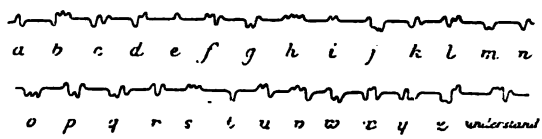


Fig. 130. — Alphabet du syphon-recorder.

vient négatif par induction, un courant s'établit de N en *n*; *n* devient positif et *m* négatif par induction, et pour effectuer cette charge, un courant de faible durée s'établit de *m* à la terre E à travers la bobine R, faisant le signal voulu dans une certaine direction. Le courant commence brusquement, il est peu intense et s'affaiblit ensuite graduellement ; on peut accélérer son affaiblissement en lâchant la clef et en plaçant M à la terre par le contact R.

On envoie un signal négatif en reliant M au *zinc* de la batterie au lieu de le relier au *cuivre*. Il ne s'établit donc pas dans la ligne de *courant* proprement dit, mais seulement une série d'inductions produites par la charge des condensateurs dans un sens ou dans l'autre, et ces inductions se traduisent par une série d'impulsions dans un sens ou dans l'autre, qui dévient la bobine du syphon-recorder.

Digitized by Google

L'envoi de courants alternativement de sens contraire se fait à l'aide d'une double clef non représentée sur la figure.

Grâce à la disposition de M. Varley, le courant reçu par l'instrument R n'augmente jamais au delà de celui que produirait le premier signal; la course de la bobine est donc limitée, ce qui permet de limiter aussi la largeur de la bande de papier. La figure 130 représente l'alphabet et la figure 131 un message transmis par le condensateur et le syphon-recorder.

La vitesse de transmission pour un câble transatlantique ou un câble de longueur égale, soit avec le galvanomètre à miroir, soit avec le syphon-recorder, varie entre quatorze et dix-huit mots par minute.

Le fonctionnement des câbles en duplex. — On a pu plus que doubler le débit des câbles sous-marins en les disposant en duplex. Le problème ne laissait pas que d'être très com-

Fig. 131. — Message transmis par le syphon-recorder.

plexe à cause de la capacité statique du câble, des phénomènes d'induction, etc. De nombreuses et longues recherches, de difficiles expériences ont été faites depuis plus de quinze ans par MM. *Cromwell Varley*, *de Sauty*, *Herbert*, *A. Taylor*, *Muirhead*. Aujourd'hui la télégraphie sous-marine en duplex est un fait accompli.

Le câble d'Aden à Bombay, *duplexé* — le mot tend à passer dans la langue — par le système de M. Muirhead présente une longueur de 1817 knots (3,360 kilomètres environ); en employant comme récepteur à chaque bout le syphon-recorder de sir W. Thomson, chaque poste peut transmettre cent lettres par minute, soit un total de quarante à quarante-cinq mots. Le débit du câble duplexé est plus que doublé parce qu'on évite les pertes de temps causées par les avertissements et les changements de communication, suivant que le poste doit recevoir ou

Digitized by Google

expédier. Avec un duplex, le câble est *toujours* prêt à recevoir ou à transmettre.

Pour un long câble dont l'intérêt du capital engagé et l'amortissement représentent *cinq francs par minute* et même davantage, si la vitesse de transmission n'avait pas dépassé trente mots par heure, — vitesse qu'on pourrait à peine atteindre avec un Morse ordinaire, — il aurait été impossible de faire payer moins de quinze francs le mot.

Le galvanomètre à miroir, le syphon-recorder et enfin le duplexement des câbles constituent trois inventions sans lesquelles la télégraphie sous-marine n'aurait pu rendre de services sur les longues lignes. En 1866 le mot coûtait 26 francs, en 1870 il s'était abaissé à 3 fr. 75. Avec les appareils rapides et un trafic considérable résultant de l'abaissement du tarif, il sera possible de maintenir le prix actuel de soixante centimes par mot, prix amené par la concurrence, mais que les progrès de la science nous permettront peut-être de garder.

Nous devrions signaler, en terminant, la télégraphie atmosphérique, mais l'électricité n'y joue qu'un rôle secondaire qui se réduit à donner les signaux de départ et d'arrivée des messages et à la détermination des points d'arrêt des boîtes à dépêches dans les tubes en cas d'accident.

Lorsqu'on compare les télégraphes rapides d'aujourd'hui au télégraphe à cinq fils imaginé par Wheatstone aux débuts de la science télégraphique, on se rend bien compte du chemin immense parcouru par la science électrique pendant ces quarante dernières années.

Digitized by Google

LA TRANSMISSION ÉLECTRIQUE DE LA FORCE A DISTANCE

Il y a une liaison beaucoup plus grande qu'on ne pourrait le croire tout d'abord entre la télégraphie électrique et la transmission de la force à distance. Un télégraphe Morse, par exemple, n'est autre chose qu'un *moteur* électrique mis en mouvement par une source placée souvent à une très grande distance et produisant, dans la plupart des cas, des mouvements *mécaniques*.

Dans le télégraphe alphabétique même, ce mouvement est un mouvement de *rotation*, mais un mouvement *discontinu*. Il va sans dire que l'énergie mise en mouvement dans ces conditions est excessivement faible et que, pendant longtemps, on n'a pu songer à utiliser industriellement cette transmission qu'à la production de signaux, en mettant en action des appareils relativement délicats et très légers. La transmission de force motrice par l'électricité se rapporte à deux ordres de questions très différents que nous allons rapidement examiner :

1° La production de l'électricité ;

2° L'utilisation de cette électricité dans un *récepteur* qui la transforme en force motrice.

Les sources d'électricité. — On n'a pas pu songer à la création d'un moteur électrique pouvant produire un travail appréciable avant l'invention de la pile de *Grove* sous réserve de quelques tentatives antérieures dont nous parlerons à propos des moteurs électriques. La mémorable expérience de *Jacobi* faite sur la Néva, en 1839, avec une pile Grove de 128 éléments, montra qu'on pouvait produire électriquement une certaine quantité de travail. A cette époque on connaissait mal le rendement électrique des piles et encore plus mal le mode d'utilisation.

Digitized by Google

Aujourd'hui les nombreux travaux qui ont été faits sur les piles voltaïques permettent de déterminer assez exactement le travail maximum disponible dans un élément donné, ainsi que la fraction de ce travail utilisable, suivant les conditions relatives de la pile, du circuit et de l'électro-moteur.

Une pile donnée peut être comparée à une chute d'eau : elle présente comme cette dernière un certain *volume* débité à une certaine *pression* pendant l'unité de temps. Le volume c'est la *quantité* d'électricité que la pile peut fournir, la pression c'est sa force *électro-motrice*.

Le travail *maximum* que peut fournir notre chute d'eau pendant l'unité de temps est égal au produit du volume d'eau débité par la hauteur de chute. De même, le travail *maximum* que peut fournir une pile est égal au produit de la quantité d'électricité par la force électro-motrice.

Il y a donc déjà une limite théorique qu'on ne saurait dépasser, et encore bien moins atteindre, car il faut tenir compte des pertes de courant dans les conducteurs et du rendement du moteur, rendement qui varie avec sa vitesse, et qui modifie dans de très grandes proportions le rapport entre l'énergie électrique dépensée par la source et le travail mécanique produit. Ajoutons encore que la pile consomme un combustible très cher, le zinc, et qu'elle ne le consomme que très lentement.

Il en résulte que la pile considérée au point de vue de l'énergie électrique mise en jeu est très dispendieuse, très lourde et très encombrante. On s'explique maintenant pourquoi les moteurs électriques mis en mouvement par des piles, — quel qu'en soit le système, — n'ont pas donné jusqu'ici les résultats qu'on en attendait au début. Aussi les moteurs électriques n'ont-ils reçu jusqu'ici qu'un petit nombre d'applications, pour produire des forces ne dépassant pas quelques kilogrammètres.

La question a changé complètement d'aspect depuis la création des machines magnéto et dynamo-électriques qui ont ouvert la voie aux applications industrielles de l'électricité.

Toutes les machines que nous avons examinées dans le troi-

Digitized by Google

sième chapitre de la première partie de cet ouvrage peuvent être utilisées comme sources d'électricité, à la condition d'envoyer le courant qu'elles produisent dans un récepteur approprié à sa transformation en travail mécanique. En réalité on emploie exclusivement les machines à courants *continus* dans les transmissions de la force motrice à distance, mais les machines à courants *alternatifs* pourraient être utilisées dans tous les cas où le synchronisme entre l'alternance des courants et la vitesse du moteur ne présenterait pas de difficultés.

Les moteurs électriques. — Si l'on en croit M. Figuier, la première tentative faite pour créer un moteur électrique remonte à l'année 1831 et est due à l'abbé *Salvator del Negro*, de Padoue. On ne connaissait à cette époque que les piles à un seul liquide et le moteur de l'abbé del Negro n'a pas dû donner de bien grands résultats, ne fût-ce qu'à cause de l'inconstance de la source. L'invention de la pile de Grove, en 1839, en mettant entre les mains des chercheurs une source électrique relativement puissante, fut l'origine de nouvelles tentatives. L'expérience de *Jacobi* sur la Néva est la première en date. En 1840, MM. *Patterson* présentèrent à l'Académie des sciences un moteur électrique qui devait servir à l'impression d'un journal hebdomadaire, et qui ne servit en réalité à rien du tout. En 1842, un Anglais, *Davidson*, aurait fait marcher une locomotive de huit tonnes avec une vitesse de huit kilomètres à l'heure sur la ligne d'Edimbourg à Glascow, mais la réalité de ce fait est aussi peu prouvée que l'annonce faite par *Page*, en 1850, d'un moteur pouvant produire un travail de cinq chevaux.

Un très grand nombre de moteurs imaginés depuis l'expérience de Page ont été décrits dans l'*Exposé des applications de l'électricité*, de M. du Moncel. Ces moteurs ne présentent d'ailleurs qu'un intérêt purement rétrospectif. En réalité, aucun d'eux n'a fourni un travail supérieur à *quatre* kilogrammètres; on peut les considérer comme des jouets électriques, car la plupart produisaient seulement une fraction de kilogrammètre.

La dépense de zinc calculée par cheval et par heure a varié,

Digitized by Google

dans des expériences faites en 1855 devant le jury de l'exposition universelle, entre 4,5 kilogrammes pour le moteur rotatif de M. Larmenjeat et 26 kilogrammes pour celui de M. Allan. Aujourd'hui les moteurs électriques sont employés dans des conditions plus favorables à leur bon fonctionnement. Ainsi, par exemple, on a fait disparaître avec raison les moteurs à mouvements de va-et-vient qui se prêtaient assez mal aux grandes vitesses. Les moteurs électriques modernes sont tous *rotatifs*. Nous décrirons par exemple le moteur de M. Marcel Deprez qui, pour

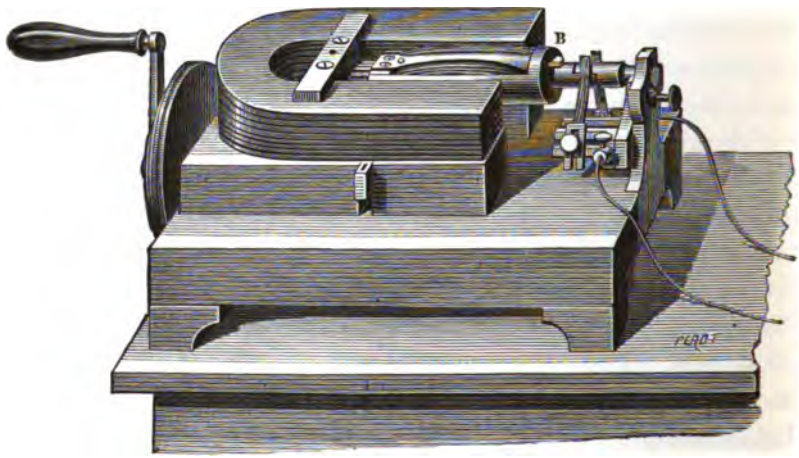


Fig. 132. — Moteur magnéto-électrique de M. Marcel Deprez.

la production des petites forces, a donné de très bons résultats eu égard à son poids et à ses dimensions.

Moteur électrique de M. Marcel Deprez. — L'appareil représenté figure 132 n'est autre chose qu'une bobine de Siemens se mouvant entre les branches d'un aimant. En disposant la bobine longitudinalement entre les branches de l'aimant au lieu de la placer transversalement, comme le faisait M. Siemens dans ses machines, M. Deprez utilise toute la puissance de l'aimant et rend le moteur plus léger et moins coûteux à puissance égale. Le courant de la source arrive aux coquilles du commutateur par deux balais formés de fils de laiton très fins comme dans

Digitized by Google

la machine Gramme. Le courant qui traverse la bobine change à chaque demi-tour, au moment où les pôles qu'il détermine passent devant ceux de l'aimant. Les pôles de même nom se repoussent, ceux de nom contraire s'attirent et la bobine prend un mouvement de rotation dépendant du sens du courant qui la traverse. Les balais sont montés sur un support pouvant tourner autour de l'axe de la bobine. On peut changer ainsi le calage du commutateur et la vitesse du moteur suivant l'effort qu'il doit produire. Le modèle de la figure 132 porte un aimant de 1700 grammes, la bobine pèse 400 grammes et le poids du moteur complet n'atteint pas quatre kilogrammes. A la vitesse de trois mille tours par minute, il développe 2, 5 kilogrammètres avec huit éléments Bunsen plats, modèle Ruhmkorff. Lorsque la vitesse tend à devenir trop grande, un petit ressort, en communication fixe par une de ses extrémités avec un des bouts du fil de la bobine et venant s'appuyer par son autre extrémité sur une des coquilles du commutateur, s'écarte par l'effet de la force centrifuge. Le circuit est rompu et reste ouvert jusqu'à ce que la vitesse redevienne normale. En pratique, les ruptures et les fermetures de circuit se produisent assez rapidement pour que les variations de vitesse ne dépassent pas $\frac{1}{700}$ de la vitesse normale.

On a construit récemment un grand nombre de moteurs basés sur l'emploi de la bobine Siemens. M. *Trouvé*, par exemple, a imaginé d'excentrer les pôles de la bobine, ce qui a permis de faire disparaître le point mort. Les moteurs à bobines de Siemens et leurs modifications multiples pourront rendre des services, lorsqu'il s'agira de produire des moteurs de faible puissance et d'une construction économique. Ils présentent cependant un inconvénient de nature à limiter leur développement aux petites forces. Dans ces moteurs, le courant fourni par la source électrique n'est pas continu, il est interrompu au moment où le courant change de sens dans la bobine, ou bien, si les coquilles de commutateur sont très rapprochées, il s'établit une communication directe par les balais à chaque demi-tour plaçant ainsi la source électrique en *court circuit* et augmentant la dé-

Digitized by Google

pense à l'instant même où elle ne produit pas de travail. Dans l'un et l'autre cas, la discontinuité d'action est défavorable au rendement, aussi tous les moteurs que nous avons signalés jusqu'ici sont-ils inférieurs, au point de vue du rendement, aux machines électro-dynamiques fonctionnant comme électro-moteurs.

Réversibilité des machines électro-dynamiques. — Nous savons qu'en mettant en mouvement une machine électro-dynamique, elle produit un courant électrique. Inversement, si on fournit un courant électrique à une machine électro-dynamique, elle se mettra en mouvement.

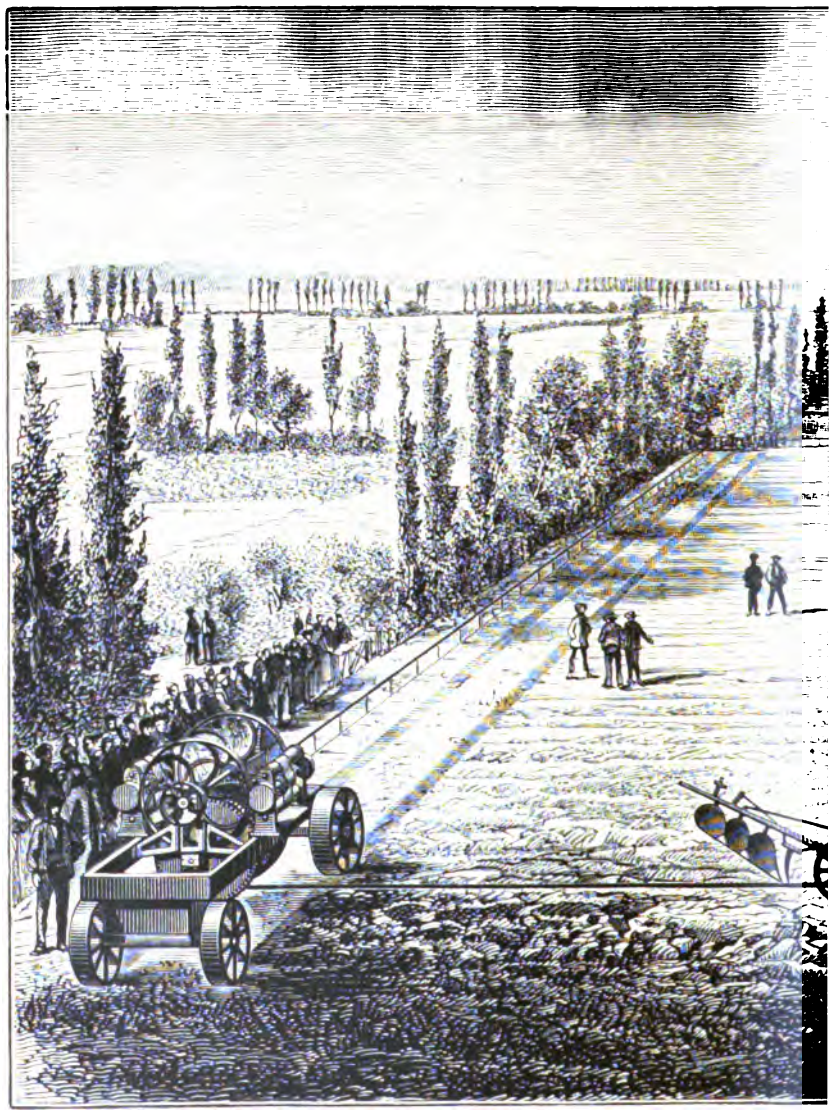
Dans le premier cas, le travail se transforme en électricité, dans le second c'est l'électricité qui se transforme en travail. On exprime ce fait en disant que les machines électro-dynamiques sont *réversibles*. Il en résulte que puisque les machines dynamo-électriques à anneau de Gramme engendrent un courant *continu*, elles dépenseront aussi un courant *continu* et se trouveront dans les meilleures conditions pour bien utiliser le courant fourni d'une façon *continue* par la source électrique.

Le principe de réversibilité, introduit par Carnot dans la science, a permis de réaliser la transmission de la force à distance par l'électricité dans des conditions de simplicité et d'économie dont on apprécie encore à peine les avantages.

Il serait bien difficile de dire exactement qui a eu le premier l'idée du principe de la réversibilité des machines électro-dynamiques, mais la première application en a été faite par M. *Fontaine*, en 1873, à l'exposition de Vienne, à l'aide de deux machines de Gramme dont l'une, le générateur d'électricité, était mise en mouvement par la transmission générale de l'exposition et dont l'autre, recevant le courant que produisait la première, actionna une pompe rotative placée dans l'annexe. D'autres applications furent faites dans l'atelier de l'artillerie de Saint-Thomas-d'Aquin, et chez M. *Cadiat* qui a transporté 50 kilogrammètres à 150 mètres de distance avec deux machines Gramme du type d'atelier, l'une constituant la source électrique et la seconde le moteur. MM. *Chrétien* et *Félix* se servirent en

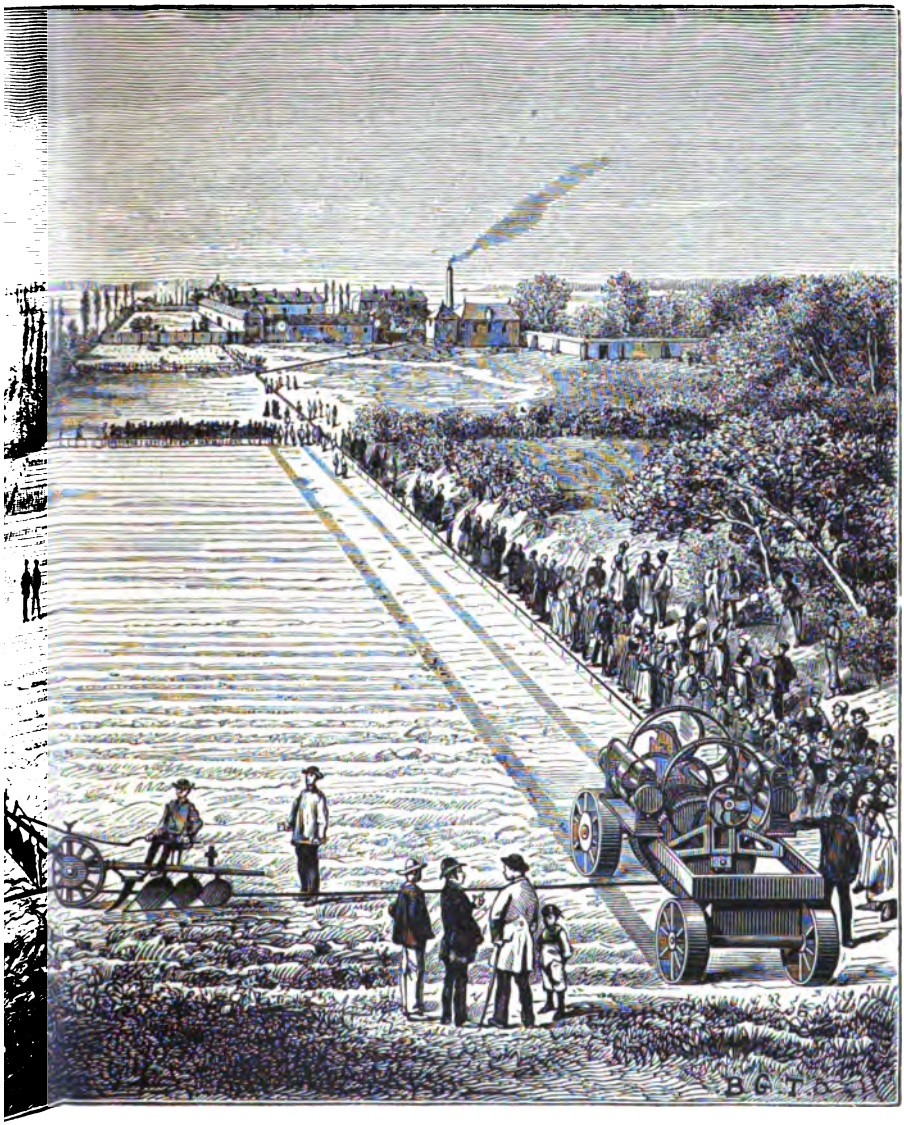
Digitized by Google

Digitized by Google



LE LABOURAGE A L'ÉLECTRICITÉ, EXPÉ

Digitized by Google



EXPÉRIENCE FAITE A SERMAIZE LE 22 MAI 1879

Digitized by Google

Digitized by Google

1878 de machines Gramme pour décharger des bateaux et charger des wagons, la source électrique étant placée à 100 mètres de l'appareil de déchargement.

Labourage électrique. — Cette application faite par MM. Chrétien et Félix a été expérimentée publiquement à Sermaize le 22 mai 1879; la planche IV représente les dispositions principales de cette intéressante expérience.

Deux treuils à quatre roues placés de chaque côté du champ à labourer reçoivent l'électricité de l'usine, fournie par des machines Gramme à l'aide de fils conducteurs.

Un commutateur envoie l'électricité tantôt à un treuil, tantôt à l'autre. Ces treuils sont mus chacun par deux machines Gramme; chacune d'elles présente une poulie enveloppée d'un anneau de caoutchouc qui presse contre un volant à surface polie et l'entraîne, la pression entre le volant et l'anneau est réglée par un ressort relié aux supports mobiles de la machine Gramme. Les treuils commandent tour à tour une charrue à quatre socs dont deux travaillent dans chaque sens, le câble de fils d'acier qui la tire s'enroulant d'un côté lorsqu'il se déroule de l'autre et inversement.

Lorsque le double sillon est tracé, les deux treuils sont déplacés en changeant par un embrayage la commande des machines Gramme qui agissent alors sur le train d'arrière du chariot.

L'expérience de Sermaize prouve qu'on peut transmettre électriquement la force motrice à des distances assez grandes.

On aura intérêt à appliquer ce procédé lorsque, comme dans l'usine électrique de M. Menier, à Noisiel, une chute d'eau fournira économiquement la force motrice et qu'on voudra utiliser le travail mécanique disponible dans ces conditions au labourage et à tous les autres travaux d'agriculture. Aux environs de certaines usines, les sucreries par exemple, dans lesquelles les moteurs à vapeur chôment une grande partie de l'année, on aura aussi intérêt à employer le labourage électrique pour utiliser les moteurs. Dans le cas où l'installation des machines serait spéciale à ces applications, l'avantage, possible dans certains cas exceptionnels, nous paraît très problématique en général.

Digitized by Google

La traction électrique des chemins de fer aériens et souterrains dans les grandes villes. — La distribution de l'électricité à domicile. — La traction électrique des chemins de fer dans les villes est étroitement liée à celle de la distribution de l'électricité à l'aide d'usines centrales convenablement réparties en certains points. Les expériences faites à Berlin en 1879 par M. Werner Siemens montrent que la question est pratiquement résolue. Un projet d'établir un chemin de fer électrique traversant la ville de Berlin a été soumis à l'administration ;

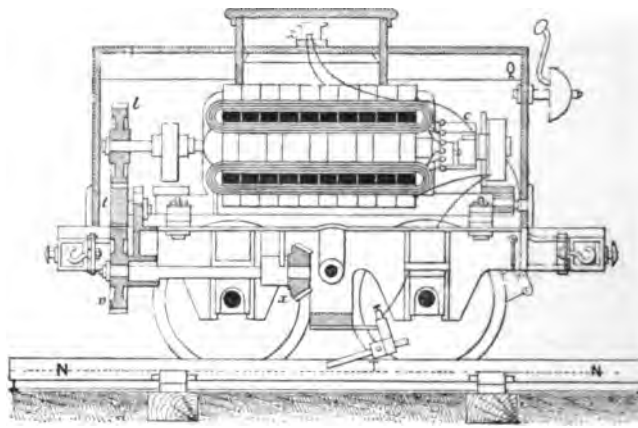


Fig. 133. — Coupe longitudinale de la locomotive du chemin de fer électrique.

les raisons qui l'ont fait rejeter sont étrangères à la science. La question est reprise en France et en Amérique, sa solution pratique ne se fera donc pas longtemps attendre. Le premier chemin de fer de démonstration construit à Berlin en 1879 est représenté planche I, au frontispice de cet ouvrage. La locomotive (fig. 133) remorquait trois petits wagons chargés de six personnes chacun. La locomotive recevait le courant par un rail central isolé sur des traverses de bois et des balais composés de petits fils de cuivre placés sur le remorqueur et venant s'appliquer contre le rail central sur ses deux faces latérales. Ce rail est relié au pôle positif du générateur mis en mouvement par un moteur à vapeur, les rails ordinaires étant reliés au pôle positif.

Digitized by Google

La locomotive se compose d'une machine dynamo-électrique de Siemens transmettant le mouvement aux roues par une série d'engrenages (fig. 133) ; un commutateur à la portée de la main du conducteur assis sur la machine sert à la mise en marche et à l'arrêt. A une vitesse de 3, 5 mètres par seconde, la locomotive produisait un travail effectif de trois chevaux.

On devine les avantages que présente la traction électrique sur la traction par machines à vapeur dans les grandes villes. La force étant produite par des machines fixes et puissantes coûtera moins cher qu'avec les locomotives, malgré les pertes inévitables causées par les conducteurs et les transformations.

La traction électrique se prête merveilleusement aux installations souterraines ou suspendues, car elle supprime radicalement la fumée, la vapeur, les escarbilles, la mauvaise odeur, l'insalubrité des tunnels si l'on est en souterrain, les dangers d'incendie si l'on est en chemin aérien. Attendons-nous donc, dans un avenir peu éloigné, à voir la traction électrique des chemins de fer dans les villes recevoir un immense développement.

La création d'usines centrales d'électricité distribuant le courant comme on distribue l'eau et le gaz suivra de près cette intéressante application. Il n'y a aucune témérité à prévoir le fractionnement pour ainsi dire *indéfini* du courant ; à propos de l'éclairage électrique nous avons montré les conditions principales de ce fractionnement ; aucune d'elles n'est irréalisable, et nous savons de source certaine qu'elles sont en voie favorable de réalisation. Dans quelques années, l'électricité aura pénétré dans nos habitations, apportant à chacun la lumière et la force motrice. Le dix-neuvième siècle ne se terminera pas sans voir le développement complet de ces applications et nos petits-enfants, en témoignage de reconnaissance à l'égard d'une science née avec le siècle, pourront le nommer à juste titre : LE SIÈCLE DE LA VAPEUR ET DE L'ÉLECTRICITÉ.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

Ire PARTIE. — **Les sources d'électricité.**

Chap. I. Les piles électriques..... 3
Chap. II. Les piles thermo-électriques..... 33
Chap. III. Les machines électro-dynamiques..... 47
Chap. IV. Les transformateurs électriques..... 92

IIe PARTIE. — **L'éclairage électrique.**

Chap. I. Les régulateurs..... 127
Chap. II. Les bougies électriques..... 156
Chap. III. L'éclairage par incandescence..... 170
Chap. IV. Les applications de l'éclairage électrique..... 193

IIIe PARTIE. — **Téléphones et microphones.**

Chap. I. Téléphones musicaux..... 224
Chap. II. Téléphones d'articulation..... 234
Chap. III. Téléphones spéciaux..... 272
Chap. IV. Les applications du téléphone..... 290

IVe PARTIE.

La télégraphie moderne..... 309
La transmission électrique de la force à distance..... 335

1044-80. Corbeil. — Typ. et stér. Crété.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.

DUE JUN 22 1922

DUE JUL 22 1922

DUE AUG 25 1922

Digitized by Google

Cabot Science 005335279
3 2044 092 020 486

Digitized by Google